



TUGAS AKHIR – RE 141581

**POTENSI EMISI GAS RUMAH KACA PADA BOEZEM
MOROKREMBANGAN DAN SERAPANNYA OLEH ALGA**

TANJUNG MEGA DWI PUSPITA
3314100013

Dosen Pembimbing
Bieby Voijant Tangahu, ST., MT., PhD.

DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018



TUGAS AKHIR – RE 141581

**POTENSI EMISI GAS RUMAH KACA PADA BOEZEM
MOROKREMBANGAN DAN SERAPANNYA OLEH ALGA**

TANJUNG MEGA DWI PUSPITA
3314100013

Dosen Pembimbing
Bieby Voijant Tangahu, ST., MT., PhD.

DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018



FINAL PROJECT – RE 141581

***GREENHOUSE GASES POTENTIAL EMISSION IN BOEZEM
MOROKREMBANGAN AND THEIR ABSORPTION BY
ALGAE***

TANJUNG MEGA DWI PUSPITA
3314100013

Supervisor
Bieby Voijant Tangahu, ST., MT., PhD.

DEPARTEMENT OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING
Faculty of Civil, Environmental, and Geo Engineering
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018

HALAMAN PENGESAHAN

POTENSI EMISI GAS RUMAH KACA PADA BOEZEM MOROKREMBANGAN DAN SERAPANNYA OLEH ALGA

TUGAS AKHIR

**Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar
Sarjana Teknik**

pada

**Program Studi S-1 Departemen Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Oleh :

TANJUNG MEGA DWI PUSPITA

NRP. 3314100013

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir



Bieby Voijant Tangahu, ST., MT., PhD.
NIP.19710818 199703 2 001



POTENSI EMISI GAS RUMAH KACA PADA BOEZEM MOROKREMBANGAN DAN SERAPANNYA OLEH ALGA

Nama Mahasiswa : Tanjung Mega Dwi Puspita
NRP : 3314100013
Departemen : Teknik Lingkungan FTSLK ITS
Dosen Pembimbing : Bieby Voijant Tangahu, ST., MT., PhD.

ABSTRAK

Boezem Morokrembangan merupakan salah satu Boezem terbesar di Kota Surabaya yang terletak di Kecamatan Krembangan di wilayah Surabaya bagian Utara. Air influen Boezem Morokrembangan bagian selatan berasal dari Sungai Greges dan Purwodadi. Besarnya kapasitas tampungan air Boezem Morokrembangan menyebabkan akumulasi bahan organik akibat air limbah domestik yang berasal dari Sungai Greges dan Sungai Purwodadi. Proses degradasi bahan organik secara anaerobik pada Boezem Morokrembangan menghasilkan gas rumah kaca yaitu CO_2 dan CH_4 . Pada Boezem Morokrembangan tumbuh dan berkembang alga yang mempunyai kemampuan dalam menyerap CO_2 untuk digunakan dalam proses fotosintesis. Tujuan dari penelitian ini adalah menghitung besarnya emisi gas rumah kaca, mengkaji pola persebaran alga dan menghitung kemampuan alga dalam menyerap CO_2 pada Boezem Morokrembangan.

Penelitian ini dilakukan dalam skala lapangan dan laboratorium. Data primer untuk penelitian lapangan yaitu data debit Boezem Morokrembangan. Pada penelitian laboratorium data primer diambil dari analisa parameter kualitas air yaitu BOD, COD, MLSS, MLVSS, DO, dan klorofil a alga. Data sekunder yang digunakan meliputi data dimensi Boezem Morokrembangan. Prakiraan emisi CO_2 dan CH_4 pada Boezem Morokrembangan berdasarkan model persamaan dari US. EPA tahun 2010.

Hasil penelitian menunjukkan Boezem Morokrembangan menghasilkan produksi gas CO_2 sebesar 5,83 ton CO_2 /hari sedangkan gas CH_4 sebesar 2,301 ton CH_4 /hari. Alga dalam

ekosistem perairan Boezem Morokrembangan tumbuh menyebar pada keseluruhan wilayah Boezem. Konsentrasi terbesar alga terdapat pada daerah tepi-tepi Boezem dan daerah mendekati outlet Boezem Morokrembangan. Kemampuan alga dalam menyerap gas CO₂ di Boezem yaitu 923, 75 kg CO₂ pada siang hari, atau setara dengan 31,8% dari total produksi gas CO₂ sebesar 2.915 kg CO₂ pada siang hari. Dengan demikian alga mempunyai potensi untuk dikembangkan di perairan Boezem Morokrembangan sebagai upaya mitigasi pemanasan global.

Kata Kunci: Alga, Bahan organik, Boezem Morokrembangan, Emisi gas rumah kaca, Gas CH₄ dan CO₂

GREENHOUSE GASES POTENTIAL EMISSION IN BOEZEM MOROKREMBANGAN AND THEIR ABSORPTION BY ALGAE

Name : Tanjung Mega Dwi Puspita
NRP : 3314100013
Departement : Environmental Engineering FTSLK ITS
Supervisor : Bieby Voijant Tangahu, ST., MT., PhD.

ABSTRACT

Boezem Morokrembangan is one of the largest Boezem in Surabaya which is located in Krembangan District, northern part of Surabaya. Water influent southern part of Boezem Morokrembangan is generated from Purwodadi and Greges river. The large amount of water storage capacity of Boezem Morokrembangan causes an accumulation of organic material due to domestic wastewater from Greges and Purwodadi river. Anaerobic degradation process of organic material in Boezem Morokrembangan generates greenhouse gases such as CO₂ and CH₄. Algae bloom in Boezem Morokrembangan has the ability to absorb CO₂ by photosynthesis process. The purposes of this study are to calculate the emissions of greenhouse gases, study the spread pattern of algae and calculate the ability of algae to absorb CO₂ in Boezem Morokrembangan.

This research was conducted on the field scale and laboratory scale. The primary data which is used in field research is the water flowrate in Boezem Morokrembangan. In this research, primary data taken from laboratory analysis is water quality parameters, which are BOD, COD, MLSS, MLVSS, *dissolved oxygen* and chlorophyll a of algae. Secondary data that is used in this research includes dimensions of Boezem Morokrembangan. The emissions of CO₂ and CH₄ on Boezem Morokrembangan is predicted based on equation model from US. EPA 2010.

The results of research showed that Boezem Morokrembangan generates CO₂ gas as much as 5,83 tons CO₂/day, and CH₄ as much as 2,301 tons CH₄/day. Algae in

aquatic ecosystems of Boezem Morokrembangan grow and completely occupy the whole surface of Boezem. The highest concentration of algae is found on the edges of the area and near the outlet of Boezem Morokrembangan. The ability of algae to absorb CO₂ in Boezem is 923, 75 kg CO₂ during the day or equivalent with 31,8% from the total CO₂ production, which is 2.915 kg CO₂ during the day. Based on the result of this research, algae shows to have potency to be developed in the aquatic ecosystems of Boezem Morokrembangan as a mitigation effort of global warming.

Keywords: Algae, Boezem Morokrembangan, CH₄ and CO₂, , greenhouse gases emissions, organic material.

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya ucapkan pada Allah SWT karena atas Rahmat dan karunia-Nya saya dapat menyelesaikan laporan tugas akhir dengan judul “Potensi Emisi Gas Rumah Kaca pada Boezem Morokrembangan dan Serapannya oleh Alga”

Atas bimbingan dan pengarahan yang telah diberikan hingga terselesaikannya laporan tugas akhir ini, saya menyampaikan terima kasih kepada,

1. Orang tua saya Bapak Sambasri dan Ibu Karsih beserta keluarga yang selalu memberikan dukungan dan doa untuk kelancaran tugas akhir ini.
2. Ibu Bieby Voijsant Tangahu, ST., MT., PhD selaku dosen pembimbing tugas akhir, terima kasih atas kesediaan, kesabaran, bimbingan dan ilmu yang diberikan.
3. Bapak Dr. Ir. Agus Slamet, Dipl. SE., M.Sc, Bapak Ir. Bowo Djoko Marsono, M.Eng, Bapak Dr. Eng. Arie Dipareza Syafei, ST., MEPM, dan Bapak Alfian Purnomo, ST., MT. selaku dosen pengarah tugas akhir saya, terima kasih atas ilmu, saran serta bimbingannya.
4. Ibu Hurun In, Ibu Meri, Bapak Afan dan Bapak Hadi Sutrisno selaku laboran Teknik Lingkungan yang senantiasa membantu dan memfasilitasi ketika di laboratorium.
5. Teman-teman angkatan 2014 yang selalu memberikan semangat dan siap membantu saya.

Saya menyadari masih banyak kekurangan dalam penyusunan laporan tugas akhir ini. Oleh karena itu saya menerima saran agar penulisan laporan tugas akhir ini menjadi lebih baik. Semoga tugas akhir ini bermanfaat bagi pembaca.

Surabaya, Januari 2018

Penulis

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan	3
1.4 Ruang Lingkup	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	5
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Boezem Morokrembangan	7
2.2 Emisi Gas Rumah Kaca (GRK)	8
2.3 Emisi Gas Rumah Kaca (GRK) pada Pengolahan Air Limbah.....	10
2.4 Estimasi Emisi Gas Rumah Kaca pada Sektor Air Limbah Domestik.....	13
2.4.1 Estimasi Emisi Gas Rumah Kaca pada Air Limbah dengan Model Persamaan Menurut US.EPA	15
2.5 Alga	18
2.6 Potensi Serapan Karbondioksida (CO ₂) oleh Alga.....	20
2.7 Penelitian Terdahulu	23
BAB 3 METODE PENELITIAN.....	25
3.1 Umum.....	25
3.2 Kerangka Penelitian	25
3.3 Ide Penelitian.....	27
3.4 Studi Literatur	28
3.5 Pengumpula Data.....	28
3.5.1 Data Primer	28
3.5.2 Data Sekunder	28
3.6 Pelaksanaan Penelitian	29
3.6.1 Lokasi Sampling.....	29
3.6.2 Pelaksanaan Penelitian Lapangan	31

3.6.3 Pelaksanaan Penelitian Laboratorium	33
3.6.4 Pengolahan Data	34
3.7 Hasil dan Pembahasan	35
3.8 Kesimpulan dan Saran	36
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	37
4.1 Pengukuran Debit Air Boezem Morokrempangan Bagian Selatan	37
4.2 Konsentrasi Bahan Pencemar pada Boezem Morokrempangan bagian Selatan	44
4.2.1 <i>Chemical Oxygen Demand</i> (COD).....	44
4.2.2 <i>Biochemical Oxygen Demand</i> (BOD)	47
4.2.3 <i>Mixed Liquor Suspended Solid</i> (MLSS)	50
4.2.4 <i>Mixed Liquor Volatile Suspended Solid</i> (MLVSS)....	52
4.3 Korelasi antara Nilai COD, BOD, MLSS, dan MLVSS	55
4.4 Korelasi antara Nilai Debit Air, COD, dan BOD Boezem Morokrempangan	57
4.5 Perhitungan Emisi Gas Rumah Kaca pada Boezem Morokrempangan	59
4.6 Analisis Pola Persebaran Alga pada Boezem Morokrempangan	66
4.6.1 Konsentrasi Klorofil a Alga dan Sebarannya pada Boezem Morokrempangan.....	66
4.6.2 Korelasi antara Nilai Klorofil a Alga dan <i>Dissolved Oxygen</i> (DO)	73
4.6.3 Korelasi antara Nilai Klorofil a Alga dan Kedalaman Intensitas Cahaya	79
4.7 Analisis Potensi Serapan Gas Rumah Kaca oleh Alga	85
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	89
5.1 Kesimpulan	89
5.2 Saran	89
DAFTAR PUSTAKA.....	91
LAMPIRAN-LAMPIRAN.....	99
BIODATA PENULIS.....	139

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Boezem Morokrempangan Bagian Selatan	8
Gambar 2.2 Proses pada Kolam Fakultatif	12
Gambar 2.3 Persamaan stoikiometri sederhana pada proses oksidasi biokimia dari material organik pada air limbah.....	15
Gambar 3.1 Kerangka Penelitian	27
Gambar 3.2 Titik Pengambilan Sampel pada Penampang Hidrolis Sungai	29
Gambar 3. 3 Peta lokasi titik sampling BOD, COD, MLSS, MLVSS pada Boezem Morokrempangan	30
Gambar 3. 4 Peta lokasi titik sampling Klorofil a dan DO pada Boezem Morokrempangan.....	31
Gambar 4.1 Penampang Basah Sungai Purwodadi	38
Gambar 4.2 Fluktuasi Debit Sungai Purwodadi	41
Gambar 4.3 Fluktuasi Debit Sungai Greges.....	42
Gambar 4.4 Fluktuasi Debit Outlet Boezem Morokrempangan ..	44
Gambar 4.5 Fluktuasi Konsentrasi COD Air Sungai Purwodadi ..	45
Gambar 4.6 Fluktuasi Konsentrasi COD Air Sungai Greges	46
Gambar 4.7 Fluktuasi Konsentrasi COD Air Outlet Boezem Morokrempangan	47
Gambar 4.8 Fluktuasi Konsentrasi BOD Air Sungai Purwodadi ..	48
Gambar 4.9 Fluktuasi Konsentrasi BOD Air Sungai Greges.....	49
Gambar 4.10 Fluktuasi Konsentrasi BOD Air Outlet Boezem Morokrempangan bagian Selatan	50
Gambar 4.11 Fluktuasi Konsentrasi MLSS Air Sungai Purwodadi	51
Gambar 4.12 Fluktuasi Konsentrasi MLSS Air Sungai Greges...	51
Gambar 4.13 Fluktuasi Konsentrasi MLSS Air Outlet Boezem Morokrempangan	52
Gambar 4.14 Fluktuasi Konsentrasi MLVSS Air Sungai Purwodadi.....	53
Gambar 4.15 Fluktuasi Konsentrasi MLVSS Air Sungai Greges ..	54
Gambar 4.16 Fluktuasi Konsentrasi MLVSS Air Outlet Boezem Morokrempangan	54
Gambar 4.17 Korelasi Nilai COD, BOD, MLSS, dan MLVSS Sungai Purwodadi	56

Gambar 4.18 Korelasi Nilai COD, BOD, MLSS, dan MLVSS Sungai Greges	56
Gambar 4. 9 Korelasi Nilai COD, BOD, MLSS, dan MLVSS Outlet Boezem Morokrempangan	57
Gambar 4.20 Korelasi Nilai Debit Air, COD, dan BOD Sungai Purwodadi.....	58
Gambar 4.21 Korelasi Nilai Debit Air, COD, dan BOD Sungai Greges.....	58
Gambar 4.22 Korelasi Nilai Debit Air, COD, dan BOD Outlet Boezem Morokrempangan	59
Gambar 4.23 Air Boezem Morokrempangan yang Berwarna Hijau.....	67
Gambar 4.24 Nilai Klorofil a Alga pada Setiap Titik di Boezem Morokrempangan bagian selatan	69
Gambar 4.25 Kontur Persebaran Klorofil a Alga pada Boezem Morokrempangan bagian selatan	71
Gambar 4.26 Nilai Klorofil a Alga dan <i>Dissolved Oxygen</i> (DO) pada Setiap Titik di Boezem Morokrempangan bagian selatan	75
Gambar 4.27 Kontur Persebaran DO pada Boezem Morokrempangan bagian selatan	77
Gambar 4.28 Nilai Klorofil a Alga dan <i>Secchi Depth</i> pada Setiap Titik di Boezem Morokrempangan bagian selatan	81
Gambar 4.29 Kontur <i>Secchi Depth</i> pada Boezem Morokrempangan bagian Selatan	83
Gambar LC.1 Pengukuran Debit Menggunakan Alat Ukur Pelampung	133
Gambar LC.2 Pengambilan Sampel Air	133
Gambar LC.3 Pengambilan Sampel Alga.....	133
Gambar LC.4 Penggunaan GPS Menuju Titik Sampling	134
Gambar LC.5 Pengukuran Kedalaman Intensitas Cahaya dengan Secchi Disk.....	134
Gambar LC.6 Analisis BOD dan COD Sampel	134
Gambar LC.7 Analisis MLSS dan MLVSS.....	135
Gambar LC.8 Analisis Klorofil a Alga dengan Menggunakan Spektrofotometer	135
Gambar LC.9 Pengukuran Nilai DO Menggunakan DO meter..	135

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Tipe Pengolahan dan Pembuangan Limbah Cair	11
Tabel 2.2 Nilai <i>Default</i> dari Koreksi Metan dan <i>Yield</i> Biomassa .	17
Tabel 2.3 Kemampuan Berbagai Spesies Alga dalam Menyerap CO ₂	21
Tabel 2.4 Hasil Pengukuran Debit Air tiap Saluran	23
Tabel 2.5 Hasil Pengukuran Debit Air tiap Saluran	23
Tabel 4.1 Hasil Perhitungan Debit Air Sungai Purwodadi	40
Tabel 4.2 Hasil Perhitungan Debit Air Sungai Greges	42
Tabel 4.3 Hasil Perhitungan Debit Air Outlet Boezem Morokrembangan	43
Tabel LB.2 Pengukuran Debit Boezem Morokrembangan.....	107
Tabel LB.3 Konsentrasi COD Air Sungai Purwodadi	123
Tabel LB.4 Konsentrasi COD Air Sungai Greges.....	123
Tabel LB.5 Konsentrasi COD Air Outlet Boezem Morokrembangan	124
Tabel LB.6 Konsentrasi BOD Air Sungai Purwodadi	124
Tabel LB.7 Konsentrasi BOD Air Sungai Greges.....	125
Tabel LB.8 Konsentrasi BOD Air Outlet Boezem.....	125
Tabel LB.9 Konsentrasi MLSS Air Sungai Purwodadi	126
Tabel LB.10 Konsentrasi MLSS Air Sungai Greges.....	126
Tabel LB.11 Konsentrasi MLSS Air Outlet Boezem Morokrembangan	127
Tabel LB. 12 Konsentrasi MLVSS Air Sungai Purwodadi	127
Tabel LB.13 Konsentrasi MLVSS Air Sungai Greges	128
Tabel LB.14 Konsentrasi MLVSS Air Outlet Boezem Morokrembangan	128
Tabel LB.15 Hasil Analisis Klorofi a dan Perhitungan Biomassa Alga	129
Tabel LB.16 Hasil Pengukuran <i>Dissolved Oxygen</i> (DO).....	130
Tabel LB.17 Hasil Pengukuran Kedalaman Secchi Disk	131

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A Pembuatan Reagen dan Prosedur Analisis.....	99
Lampiran B Data Hasil Analisis	107
Lampiran C Gambar dan Foto.....	133

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Meningkatnya jumlah penduduk perkotaan memiliki pengaruh terhadap volume air limbah yang dihasilkan terutama air limbah domestik. Kurangnya penanganan sanitasi yang baik menyebabkan air limbah domestik dibuang secara langsung ke badan air sehingga dapat mencemari lingkungan. Air limbah domestik mengandung bahan organik, anorganik, bakteri patogen, dan logam berat (Malisie *et al.*, 2007). Saat ini, sebagian besar air limbah domestik perkotaan dibuang langsung ke saluran drainase dan badan air permukaan tanpa diolah terlebih dahulu. Saluran drainase memiliki fungsi ganda yaitu baik sebagai penampung air hujan, maupun mengalirkan air limbah domestik. Beban pencemar dalam air limbah domestik ini mempunyai andil yang besar dalam menyumbang beban pencemar di badan air sehingga dapat meningkatkan rasio beban pencemar dalam ekosistem perairan (Morris *et al.*, 2016).

Air limbah domestik perkotaan yang dibuang ke badan air dapat bermuara pada suatu embung (Boezem) sebelum dialirkan ke laut. Salah satu Boezem terbesar di Kota Surabaya adalah Boezem Morokrengan. Saluran yang bermuara ke Boezem Morokrengan bagian selatan meliputi saluran dari Sungai Greges dan Sungai Purwodadi. Air limbah domestik yang dialirkan ke saluran-saluran tersebut bermuara pada Boezem Morokrengan, sehingga menyebabkan air di Boezem Morokrengan mengandung bahan organik dan nutrien. Hal ini ditunjukkan dengan konsentrasi N-organik pada Sungai Greges, Sungai Purwodadi, dan outlet Boezem Morokrengan bagian selatan masing-masing sebesar 18,773 mg/L, 18,038 mg/L dan 16,668 mg/L (Hananta, 2010). Sedangkan menurut Hasriyani (2010) yang melakukan analisis zat organik dengan menggunakan parameter *Chemical Oxygen Demand* (COD) pada sampel masing-masing nilainya mencapai kisaran antara 33,74 – 104,98 mg/L.

Adanya kandungan bahan pencemar yang terdapat di air Boezem Morokrengan menyebabkan terjadinya proses penguraian (degradasi) bahan pencemar tersebut secara biologis

ataupun biokimia yang dapat terjadi dengan dua cara yakni aerobik dan anaerobik. Proses degradasi aerobik yakni bahan organik dalam air limbah akan diuraikan oleh jasad renik menjadi karbon dioksida (CO_2), ammonia (NH_3), dan sel baru (Metcalf dan Eddy, 2003). Proses degradasi anaerobik terjadi proses konversi zat organik menjadi gas metana (CH_4) dengan bantuan bakteri anaerob yang kemudian gas metana tersebut akan dilepaskan ke atmosfer (Sperling, 2007). Produksi gas CH_4 yang tinggi terjadi apabila beban organik C tinggi, sebanding dengan laju dekomposisi, dan kondisi anaerobik pada dasar air dan sedimen. Pelepasan gas karbon dioksida ke atmosfer dari ekosistem perairan yang dangkal, bergantung pada rasio hasil produksi gas CO_2 dari proses respirasi di ekosistem tersebut (Glaz, *et al.*, 2016).

Gas CH_4 dan CO_2 termasuk dalam kategori gas rumah kaca. Emisi CH_4 memiliki potensi bahaya 34 kali lebih besar dari gas CO_2 pada kurun waktu 100 tahun ini (IPCC, 2013). Gas karbon dioksida dapat diserap dari atmosfer oleh biomassa fitoplankton seperti alga yang ada di ekosistem perairan dengan mekanisme fotosintesis (Park, *et al.*, 2011). Alga dalam air Boezem dapat memungkinkan terjadinya proses fotosintesis dan alga tersebut memproduksi oksigen yang dibutuhkan untuk mendegradasi bahan organik oleh bakteri heterotropik, sedangkan nutrisi dan CO_2 dari oksidasi akan diserap oleh alga (Santiago *et al.*, 2013). Dalam proses stabilisasi terdapat interaksi antara bakteri dan alga. Bakteri menguraikan dan mengoksidasi konstituen dalam air limbah dan menghilangkan bau. Alga memanfaatkan karbon dioksida dan zat-zat lain yang dihasilkan dari proses metabolisme bakteri dan melalui proses fotosintesis alga menghasilkan oksigen yang dibutuhkan dalam proses pengolahan air limbah (Al-Hashimi dan Hussain, 2013).

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) menyatakan bahwa produksi gas rumah kaca yang berlebihan, terutama pada gas CO_2 , CH_4 , dan N_2O berasal dari sumber antropogenik bertanggung jawab atas pemanasan global dan perubahan iklim (El-Fadel dan Massoud, 2001). Itulah sebabnya diperlukan identifikasi dan perhitungan pada semua sumber baik sumber alami maupun antropogenik sebagai upaya untuk strategi dalam mengendalikan dan mereduksi laju kenaikan emisi gas rumah kaca pada atmosfer. Berdasarkan berkembangnya

informasi tentang perubahan iklim global dan emisi gas rumah kaca, diperlukan mengkaji potensi emisi gas rumah kaca di Boezem Morokrembangan dan pola persebaran alga untuk mengetahui potensi alga dalam menyerap emisi gas rumah kaca. Selain itu, mengingat bahwa belum adanya data dan informasi mengenai prediksi emisi gas rumah kaca khususnya CH_4 dan CO_2 yang ada di Boezem Morokrembangan untuk melaksanakan upaya mitigasi dan strategi reduksi emisi yang dapat diimplementasikan. Dalam penelitian ini menilai bahwa kandungan zat organik dalam air limbah domestik yang terakumulasi di Boezem Morokrembangan mempengaruhi besarnya emisi gas CH_4 dan CO_2 ke atmosfer. Selain itu, akan dilakukan analisa terhadap pola persebaran alga untuk menghitung potensi alga yang ada di ekosistem perairan Boezem Morokrembangan dalam menyerap gas CO_2 sebagai salah satu upaya mereduksi emisi gas rumah kaca pada Boezem.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah di atas, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Berapa besar emisi gas rumah kaca pada Boezem Morokrembangan?
2. Bagaimana pola persebaran alga pada Boezem Morokrembangan?
3. Berapa besar potensi alga di Boezem Morokrembangan dalam menyerap gas rumah kaca?

1.3 Tujuan

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Menghitung besarnya emisi gas rumah kaca pada Boezem Morokrembangan.
2. Mengkaji pola persebaran alga pada Boezem Morokrembangan.
3. Menghitung besarnya potensi alga di Boezem Morokrembangan dalam menyerap gas rumah kaca.

1.4 Ruang Lingkup

Ruang lingkup dalam penelitian ini adalah:

1. Lokasi studi adalah Boezem Morokrembangan bagian Selatan
2. Penelitian dilakukan saat musim kemarau

3. Parameter gas rumah kaca yang dihitung adalah CH_4 dan CO_2
4. Laboratorium penelitian yang digunakan adalah laboratorium Teknologi Pengolahan Air, Departemen Teknik Lingkungan ITS
5. Media yang digunakan adalah air sampel yang berasal dari Boezem Morokrembangan bagian Selatan.
6. Parameter yang diteliti di laboratorium selama penelitian adalah:
 - a. Analisis parameter kimia yang diuji berupa nilai BOD dan COD
 - b. Analisis parameter fisik yang diuji berupa nilai MLSS dan MLVSS
 - c. Analisis klorofil a alga
 - d. Analisis DO
7. Penelitian di lapangan meliputi pengukuran debit air Boezem Morokrembangan yang dilakukan di inlet Boezem yaitu saluran Sungai Greges dan Sungai Purwodadi serta outlet Boezem Morokrembangan bagian Selatan dan pengukuran kedalaman air yang terkena penetrasi cahaya matahari (*secchi depth*).
8. Variasi yang digunakan adalah:
 - a. Lokasi: lokasi sampling untuk analisis BOD, COD, MLSS, MLVSS ditetapkan pada 3 titik sampling yaitu inlet Sungai Greges, inlet Sungai Purwodadi, dan outlet Boezem Morokrembangan bagian selatan. Lokasi sampling klorofil a alga yang menyebar pada area Boezem sesuai plot yang ditentukan di wilayah Boezem Morokrembangan bagian selatan.
 - b. Waktu pengambilan sampel untuk analisa BOD, COD, MLSS, MLVSS yaitu sekitar pukul 07.00-09.00 WIB, 11.00-13.00 WB dan sekitar pukul 14.00-16.00 WIB, sedangkan analisis klorofil a alga dan DO dilakukan 2 kali pengambilan sampel.
9. Dasar perhitungan emisi GRK menggunakan metode *Greenhouse Gas Emissions Estimation Methodologies* dari US. EPA tahun 2010.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini antara lain:

1. Sebagai referensi data tentang potensi emisi gas rumah kaca pada Boezem Morokrembangan akibat kandungan zat organik pada Boezem.
2. Sebagai referensi data tentang pola persebaran alga pada Boezem Morokrembangan bagian selatan
3. Sebagai salah satu rekomendasi data mengenai potensi alga dalam menyerap gas rumah kaca pada Boezem Morokrembangan, sehingga dapat dimanfaatkan sebagai pertimbangan pengembangan pengelolaan Boezem Morokrembangan dalam penurunan emisi gas rumah kaca oleh Pemerintah Kota Surabaya dan instansi lain yang terkait.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Boezem Morokrempangan

Boezem merupakan suatu penampungan atau kolam yang berfungsi sebagai tampungan dari sungai dan juga sebagai pengatur buangan air sungai ke laut. Boezem Morokrempangan terletak di Kecamatan Krempangan, di wilayah Surabaya Utara. Lokasi Boezem ini berdekatan dengan kawasan militer Angkatan Laut dan Pelabuhan Tanjung Perak. Boezem Morokrempangan ini terbagi atas dua wilayah dimana pembagiannya adalah jalan raya Surabaya-Gresik. Boezem ini berada di pinggiran bagian utara Kota Surabaya memiliki luas total $\pm 41,58$ ha dan bagian selatan dengan luas sekitar $\pm 39,13$ ha. Kedalaman rata-rata Boezem adalah 3 m (Putri *et al.*, 2014). *Catchment area* Boezem Morokrempangan meliputi 10 kecamatan dan 34 kelurahan di wilayah Morokrempangan utara. Kapasitas Boezem Morokrempangan utara adalah 415.790 m^3 dan Boezem Morokrempangan selatan adalah 434.466 m^3 . Boezem Morokrempangan sebagai tempat bertemunya tiga aliran sungai yaitu Greges, Sungai Purwodadi (Solotigo), dan Sungai Pesapen.

a. Sungai Greges.

Sungai ini merupakan saluran yang paling lebar diantara yang lain dengan lebar bagian muara adalah 33 m. Luas *catchment area* Sungai Greges adalah 2.325,72 ha. Di sekitar saluran drainase sangat padat dengan pemukiman penduduk. Pemukiman daerah Asemrowo dan Tambak Asri dilayani oleh saluran ini. Permasalahan utama dari Sungai Greges ini adalah sampah yang menumpuk dan sedimentasi.

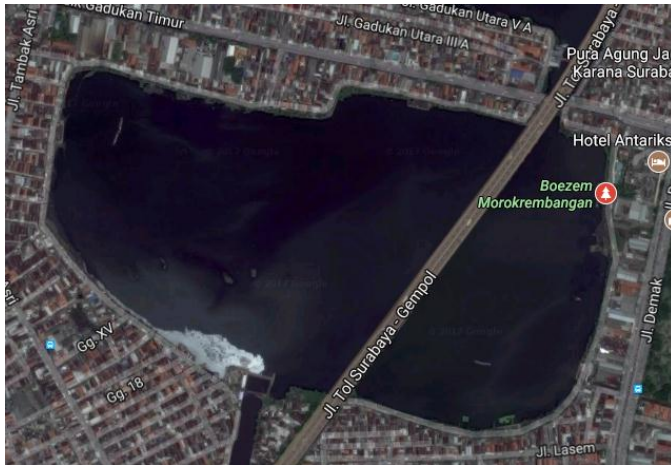
b. Sungai Purwodadi (Solotigo)

Saluran ini merupakan muara dari Sungai Jepara. Saluran berbentuk trapesium dengan lebar atas adalah 7,5 m pada bagian muara menuju ke Boezem. *Catchment area* dengan luas 87,89 ha juga didominasi oleh pemukiman padat yang melalui Kelurahan Jepara dan Sedayu.

c. Sungai Pesapen

Sungai Pesapen terletak di Jalan Tanjung Sadari dengan lebar saluran 6,5 m. Total luas *catchment area* adalah 278,52 ha. *Catchment area* ini juga didominasi oleh pemukiman

padat penduduk yang padat di daerah Tanjungsari. Permasalahan utama yang terjadi hampir sama dengan kondisi Sungai Greges adalah buangan sampah, air limbah, dan sedimentasi.



Gambar 2. 1 Boezem Morokrembangan Bagian Selatan
Sumber : Google Earth (2017)

2.2 Emisi Gas Rumah Kaca (GRK)

Gas Rumah Kaca (GRK) merupakan penyebab efek rumah kaca. Efek rumah kaca adalah suatu fenomena energi dari sinar matahari tidak dapat terpantul keluar bumi. Radiasi sinar matahari ditransmisikan langsung ke bumi melewati atmosfer dalam berbagai jenis sinar elektromagnetik dengan panjang gelombang yang berbeda termasuk sinar UV dan inframerah. Sebesar 50% sinar matahari dalam bentuk radiasi gelombang pendek dipantulkan kembali ke luar atmosfer bumi (AGS, 2010). Energi matahari sebagian besar dalam bentuk gelombang pendek, termasuk cahaya tampak. Energi ini mengenai permukaan bumi dan berubah dari cahaya menjadi panas. Permukaan bumi kemudian menyerap sebagian panas sehingga menghangatkan bumi, dan sebagian dipantulkannya kembali ke luar angkasa.

Keberadaan GRK, menyebabkan sebagian besar inframerah yang dipancarkan bumi tertahan oleh awan dan gas-gas rumah kaca untuk dikembalikan ke permukaan bumi. Oleh

karena itu akan terjadi peningkatan suhu di permukaan bumi yang menyebabkan pemanasan global (Rukaesih, 2004). *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) menyatakan bahwa produksi gas rumah kaca yang berlebihan, terutama pada gas karbon dioksida (CO_2), metana (CH_4), dan dinitrogen oksida (N_2O) berasal dari sumber antropogenik bertanggung jawab atas pemanasan global dan perubahan iklim (El-Fadel dan Massoud, 2001). Itulah sebabnya diperlukan identifikasi dan perhitungan pada semua sumber baik sumber alami maupun antropogenik sebagai upaya untuk strategi dalam mengendalikan dan mereduksi laju kenaikan emisi gas rumah kaca pada atmosfer.

Beberapa penelitian di dunia mengenai perubahan iklim akhir-akhir ini menunjukkan bahwa aktivitas manusia memberikan kontribusi terhadap kenaikan temperatur di muka bumi selama setengah abad terakhir (Clement, *et. al.*, 2010). Menurut *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC, 2006), gas-gas utama yang dikategorikan sebagai GRK mempunyai potensi menyebabkan pemanasan global adalah CO_2 dan CH_4 . Meskipun CO_2 dan CH_4 secara alami terdapat di atmosfer, namun era industrialisasi sejak tahun 1750 sampai tahun 2005 gas-gas tersebut mengalami peningkatan kadar yang pesat dan secara global. Gas CO_2 mempunyai presentase sebesar 50% dari total GRK sementara CH_4 memiliki presentase sebesar 20% (Rukaesih, 2004).

Gas metana (CH_4) adalah salah satu GRK utama yang mempunyai kontribusi terhadap pemanasan global sebesar 21 kali gas CO_2 , sehingga dalam perhitungannya satuan berat gas CH_4 adalah ekuivalen dengan 21 satuan berat gas CO_2 (IPCC, 2006). Seiring dengan pertumbuhan penduduk yang sangat pesat, diprediksi akan semakin banyak pula limbah domestik yang dihasilkan yang berarti semakin banyak pula CH_4 yang dihasilkan. Menurut IPCC (2001) karbon dioksida (CO_2) merupakan termasuk dalam gas rumah kaca. CO_2 mempunyai kemampuan dalam menyerap panjang gelombang inframerah pada sinar matahari, sehingga dalam hal ini efek dari gas rumah kaca dapat meningkat secara signifikan. Gas karbon dioksida (CO_2) bertanggung jawab dalam mempertahankan setengah dari suhu atmosfer dengan menjadi perangkap gas yang menyebabkan efek gas rumah kaca sebesar 9-26%. Gas karbon dioksida (CO_2) merupakan gas yang

tidak berwarna, tidak terasa, dan tidak berbau. Keberadaan gas ini di udara sebenarnya tidak berdampak langsung pada manusia, akan tetapi berlebihnya kuantitas gas karbon dioksida di atmosfer akan menyebabkan sinar inframerah ini tidak dapat dikembalikan ke atmosfer karena terhalang oleh gas CO₂ yang ada di atmosfer yang mengakibatkan suhu bumi semakin tinggi (Utami, 2011).

2.3 Emisi Gas Rumah Kaca (GRK) pada Pengolahan Air Limbah

Menurut Wirawan *et. al.* (2014) penyumbang limbah cair tertinggi di Indonesia adalah berasal dari rumah tangga. Pada limbah cair rumah tangga proses degradasi biokimia limbah cair yang dapat menghasilkan emisi gas rumah kaca, yaitu CH₄ (metana) dan N₂O (dinitrogen oksida) (IPCC, 2006). Pengolahan air limbah menerima air limbah dan menghasilkan air effluen dengan menggunakan proses yang berbeda seperti pengolahan aerobik, pengolahan anaerobik, dan pengolahan *hybrid*. Emisi gas rumah kaca pada on-site unit pengolahan air limbah dihasilkan dari proses pengolahan fase liquid, proses pengolahan fase padat, dan pembakaran biogas serta bahan bakar fosil sebagai sumber energi. Sedangkan emisi gas rumah kaca pada *off-site* unit pengolahan air limbah berasal dari pembuangan fase padat (transportasi dan degradasi solid pada *off-site* unit pengolahan), energi yang dihasilkan, dan produksi zat kimia pada *off-site* unit pengolahan (Monteith *et al.*, 2005). Pengolahan limbah cair secara aerobik tidak menghasilkan emisi gas rumah kaca namun menghasilkan lumpur/*sludge* yang perlu diolah melalui *anaerobic digestion*, *land disposal* maupun insinerasi, akan tetapi pada saat pengolahan secara biologi, limbah cair menghasilkan gas rumah kaca seperti CO₂, CH₄, dan N₂O (Campos *et al.*, 2016).

Emisi N₂O dihasilkan dari proses nitrifikasi dan denitrifikasi. Senyawa ini terbentuk apabila kondisi perairan memiliki nilai pH dan DO yang rendah (Law *et. al.*, 2009). Berdasarkan penelitian Daelman *et al.*, (2012) sebanyak 1% dari total emisi CH₄ dari limbah cair berasal dari COD (*Chemical Oxygen Demand*). Sumber utama dari emisi CH₄ adalah lumpur/*sludge* yang diolah secara biologi. Dalam proses produksi CO₂ ada dua faktor utama yang mempengaruhi yaitu proses pengolahan secara biologi dan pemakaian listrik pada saat

melakukan pengolahan air limbah (Campos *et. al.*, 2016). Tipe pengolahan dan pembuangan limbah cair serta jenis gas rumah kaca yang dihasilkan dapat dilihat pada Tabel 2.1.

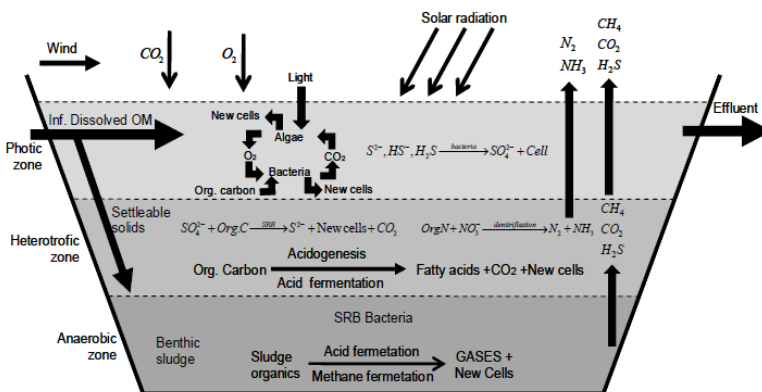
Tabel 2. 1 Tipe Pengolahan dan Pembuangan Limbah Cair

Tipe Pengolahan dan Pembuangan		Potensi Emisi CH ₄ dan N ₂ O
Dikumpulkan	Tanpa Perlakuan	Aliran sungai
		Kekurangan oksigen pada sungai/ danau menyebabkan dekomposisi secara anaerobik yang menghasilkan CH ₄
		Saluran tertutup bawah tanah
	Saluran pembuangan (terbuka)	Tidak menghasilkan CH ₄ dan N ₂ O
		Kelebihan limbah pada saluran terbuka merupakan sumber CH ₄
	Perlakuan Aerobik	CH ₄ dalam jumlah tertentu dari lapisan anaerobik
		Fasilitas pengolahan limbah cair terpusat secara anaerobik
		Sistem aerobik yang buruk dapat menghasilkan CH ₄
		Pabrik dengan pemisahan nutrisi (nitrifikasi dan denitrifikasi) menghasilkan N ₂ O dalam jumlah sedikit
		Pengolahan lumpur anaerobik pada pengolahan limbah cair terpusat secara anaerobik
	Anaerobik	Kemungkinan lumpur merupakan sumber CH ₄ dan jika CH ₄ yang dihasilkan tidak direcoveri dan dibakar (<i>flared</i>)
		Kolam dangkal secara anaerobik
		Tidak menghasilkan CH ₄ dan N ₂ O
		Sistem aerobik yang buruk dapat menghasilkan CH ₄
	Anaerobik	Danau di pinggir laut secara anaerobik
		Dapat menghasilkan CH ₄
Dikumpulkan	Anaerobik	Tidak menghasilkan N ₂ O
		Reaktor (Digester) anaerobik
		Kemungkinan lumpur merupakan sumber CH ₄ dan jika

Tipe Pengolahan dan Pembuangan		Potensi Emisi CH ₄ dan N ₂ O
Tidak Dikumpulkan	Septic tank	CH ₄ yang dihasilkan tidak direcoveri dan dibakar (<i>flared</i>)
	Latrine/Lubang Kakus Kering	Sering kali pemisahan padatan mengurangi produksi CH ₄
	Aliran sungai	Produksi CH ₄ (temperatur & waktu penyimpanan tertentu)
		Kekurangan oksigen pada sungai/ danau menyebabkan dekomposisi secara anaerobik yang menghasilkan CH ₄

Sumber : IPCC, 2006

Pada sebuah kolam fakultatif yang mempunyai kedalaman 1,5 - 2 meter yang berfungsi sebagai kolam penampung air limbah terdapat beberapa zona yang mempengaruhi proses yang terjadi. Hal ini terjadi akibat pengaruh kedalaman kolam, penetrasi cahaya matahari, dan kadar oksigen. Proses yang terjadi dalam kolam fakultatif dapat digambarkan pada gambar 2.2.



Gambar 2. 2 Proses pada Kolam Fakultatif

Sumber: Silva, 2007

Pada zona anaerobik zat organik distabilisasi menjadi CO₂ dan CH₄ melalui mekanisme anaerobik. Prosesnya diawali

dengan sedimentasi *settleable solids* yang diikuti dengan digesting anaerobik sehingga terbentuklah lapisan lumpur. Hasil akhir dari proses anaerobik ini adalah gas CO_2 , CH_4 , H_2S yang ditransfer ke atmosfer melalui mekanisme difusi. CO_2 dan CH_4 ini turut berkontribusi dalam efek gas rumah kaca, karena diketahui bahwa CO_2 dan CH_4 merupakan gas rumah kaca utama yang menyumbang pemanasan global. Pada zona heterotropik turut berkontribusi pada dalam emisi gas rumah kaca yang disebabkan oleh proses biokimia dalam proses degradasi karbon dan nitrogen (Shilton dan Walmsey, 2005). Pada zona ini keberadaan oksigen sangat sedikit atau bahkan tidak ada (kondisi anoksik), sehingga juga disebut sebagai zona fakultatif. Menurut Zimmo *et. al.* (2005) gas rumah kaca yang diemisikan pada zona ini adalah N_2O dari proses nitrifikasi/denitrifikasi. Pada kedalaman kolam yang dangkal terdapat zona fotik yang merupakan zona aerobik dimana terdapat konsentrasi oksigen yang tinggi. Adanya oksigen dalam zona ini karena oksigen diproduksi oleh alga melalui proses fotosintesis menggunakan cahaya matahari.

2.4 Estimasi Emisi Gas Rumah Kaca pada Sektor Air Limbah Domestik

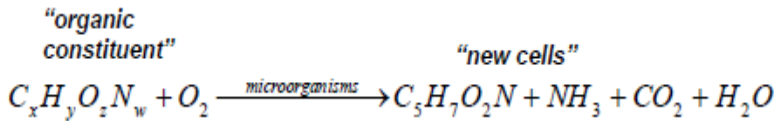
Gas metan (CH_4) merupakan produk samping yang dihasilkan dari proses penguraian bahan organik secara anaerobik pada pengolahan air limbah domestik. Limbah domestik dan lumpur yang dihasilkannya, dapat memproduksi metana jika pengolahannya dilakukan secara anaerobik. Jumlah CH_4 yang dihasilkan utamanya bergantung pada banyaknya material organik yang dapat diuraikan dalam limbah tersebut, temperatur akan meningkatkan jumlah produksi CH_4 . Hal ini akan menentukan untuk perhitungan CH_4 dari limbah yang tidak dikelola (misal dibuang ke sungai, kolam) di negara-negara dengan temperatur hangat. Pada suhu dibawah 15°C limbah domestik dan lumpur, tidak akan produksi CH_4 karena bakteri metanogen tidak aktif.

Prinsip penting dalam menentukan produksi CH_4 adalah jumlah material organik yang dapat terurai yang ada dalam limbah domestik. Parameter umum untuk mengukur material organik terurai dalam air limbah domestik adalah BOD dan COD. Semakin tinggi angka BOD dan atau COD maka semakin banyak CH_4 yang dihasilkan. Pengelolaan limbah domestik dapat menghasilkan CH_4

secara disengaja maupun tidak disengaja. Sebagai contoh pengelolaan limbah secara anaerobik yang normalnya tidak menghasilkan CH_4 akan dapat menghasilkan CH_4 jika terkait dengan kedalaman dan faktor kontak oksigen. Kedalaman kolam menjadi faktor penting dalam produksi CH_4 , sebagai contoh kolam yang dangkal (kurang dari 1 meter) umumnya akan menghasilkan kondisi aerobik, sehingga tidak menghasilkan CH_4 , sebaliknya kolam dengan kedalaman 2-3 meter umumnya dapat menghasilkan CH_4 dengan jumlah yang cukup berarti (Priadie, 2014). Pada Boezem Morokrembangan kondisi anaerobik dapat dicapai dengan keadalaman antara 2-3 meter, hal ini berdasarkan pada Sasse, (1998) kondisi anaerobik pada kolam stabilisasi dapat dicapai pada kedalaman 2-6 meter.

Gas Karbon dioksida (CO_2) berasal dari oksidasi material organik saat pengolahan air limbah dan pembakaran bahan bakar fosil untuk pemanasan (Sahely, 2006). Menurut Effendi (2003) karbon dioksida dalam bentuk karbon anorganik terlarut diubah menjadi karbon organik melalui proses fotosintesis, kemudian kembali ke atmosfer melalui proses respirasi dan dekomposisi. Keseimbangan CO_2 berasal dari interaksi antara sumber dan lepasnya gas ini. Sumber CO_2 merupakan tempat gas ini diemisikan, kemudian tempat lepasnya gas ini merupakan reservoirnya. Prinsip dari sumber CO_2 adalah berhubungan dengan proses biogenik seperti respirasi hewan, proses mikroba dalam dekomposisi bahan organik, karbon tanah, laut, pembakaran bahan, bakar, dan fotosintesis dari tumbuhan dan organisme lain (Cyanobakteria dan Alga).

Pengukuran yang umum dilakukan untuk bahan *biodegradable* biologis dalam air limbah adalah BOD_5 . BOD_5 menentukan jumlah oksigen terlarut yang dibutuhkan oleh organisme biologis pada badan perairan untuk menguraikan material pada temperatur tertentu (20°) pada waktu yang tertentu (5 hari). BOD_5 merupakan parameter umum yang digunakan untuk semua tipe pengolahan air limbah secara biologis (anerobik dan aerobik) dan digunakan untuk menentukan efektifitas pengolahan air limbah. Persamaan stoikiometri sederhana proses oksidasi biokimia dari material organik dalam air limbah dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2. 3 Persamaan stoikiometri sederhana pada proses oksidasi biokimia dari material organik pada air limbah

Parameter lain yang digunakan dalam air limbah dan yang berhubungan dengan jumlah material organik *degradable* adalah COD (*Chemical Oxygen Demand*) dan *Total Organic Carbon* (TOC). Analisis COD menggunakan oksidator kimia untuk mengoksidasi semua material organik dalam air limbah. Sama dengan COD, TOC mengoksidasi semua material yang tidak mudah terurai secara biologis. Jadi penggunaannya dalam pengukuran emisi CO₂ dalam air limbah dapat melebihi dibanding dengan saat pengukuran menggunakan BOD (RTI, 2010).

2.4.1 Estimasi Emisi Gas Rumah Kaca pada Air Limbah dengan Model Persamaan Menurut US.EPA

Pengolahan air limbah secara aerobik memproduksi CO₂ dan pengolahan air limbah dalam kondisi anerobik memproduksi CH₄ dan CO₂. Berikut ini merupakan persamaan umum yang digunakan untuk mengestimasi emisi gas rumah kaca menurut US. EPA tahun 2010. Persamaan 2.1 dan 2.2 merupakan persamaan general yang dapat digunakan untuk mengestimasi emisi CH₄ dan CO₂ secara langsung dari berbagai tipe proses pengolahan air limbah yang mengasumsikan bahwa semua karbon organik hilang dari air limbah dan terkonversi menjadi CH₄ dan CO₂ atau sel biomassa yang baru.

$$CO_2 = 10^{-6} \times Q_{ww} \times OD \times Eff_{OD} \times CF_{CO_2} \times [(1 - MCF_{ww} \times BG_{CH_4})(1 - \lambda)] \dots 2.1$$

$$CH_4 = 10^{-6} \times Q_{ww} \times OD \times Eff_{OD} \times CF_{CH_4} \times [(MCF_{ww} \times BG_{CH_4})(1 - \lambda)] \dots 2.2$$

Dimana:

CO₂ = Laju emisi CO₂ (ton CO₂/jam)

CH₄ = Laju emisi CH₄ (ton CH₄/jam)

10⁻⁶ = Faktor unit konversi (ton/g)

Q_{ww} = Debit air limbah influen (m³/jam)

OD = *Oxygen demand* influen air limbah yang masuk unit pengolahan biologis, ditentukan dengan nilai BOD₅ atau COD (mg/L = g/m³)
 Eff_{OD} = Efisiensi removal *oxygen demand* dari unit pengolahan
 CF_{CO₂} = Faktor konversi dari maksimum produksi CO₂ tiap unit *oxygen demand*
 = 44/32 = 1,375 g CO₂/ g *oxygen demand*
 CF_{CH₄} = Faktor konversi dari maksimum produksi CH₄ tiap unit *oxygen demand*
 = 16/32 = 0,5 g CH₄/ g *oxygen demand*
 MCF_{WW} = Faktor koreksi metan dari tipe pengolahan air limbah, mengindikasikan fraksi influen *oxygen demand* yang terkonversi secara anerobik dalam air limbah (lihat tabel 2.2)
 BG_{CH₄} = Fraksi karbon sebagai CH₄ dalam produksi biogas (nilai default 0,65)
 λ = Nilai *yield* dari biomassa (g C yang terkonversi ke biomassa/ g C terkonsumsi pada proses pengolahan air limbah).

Nilai *yield* (λ), pada persamaan 2.1 dan 2.2 ditentukan berdasarkan jumlah produksi lumpur dari prosesnya. Nilai *Mixed Liquor Volatile Suspended Solids* (MLVSS) digunakan untuk menghitung konsentrasi biomassa. Debit lumpur dikalikan dengan konsentrasi MLVSS menunjukkan laju produksi biomassa. Karbon yang terkonsumsi dalam proses pengolahan air limbah diestimasi dengan nilai laju removal BOD. Nilai *yield* (λ) dapat dihitung menggunakan persamaan 2.3.

$$\lambda = \frac{Q_s \times MLVSS_s \times CF_s}{Q_{ww} \times OD \times EF_{OD} \times CF_c} \dots\dots\dots 2.3$$

Dimana:

λ = Nilai *yield* dari biomassa (g C yang terkonversi ke biomassa/ g C terkonsumsi pada proses pengolahan air limbah).
 Q_s = Debit lumpur (m³/jam)
 Q_{ww} = Debit air limbah influen (m³/jam)
 MLVSS_s = Konsentrasi *Mixed Liquor Volatile Suspended Solids* dari aliran lumpur (MLVSS) (mg/L = g/m³)

OD = *Oxygen demand* influen air limbah yang masuk unit pengolahan biologis, ditentukan dengan nilai BOD₅ atau COD (mg/L = g/m³)

Eff_{OD} = Efisiensi removal *oxygen demand* dari unit pengolahan

CF_S = Faktor koreksi karbon pada biomassa
= 0,53 g C/g MLVSS (default)

CF_C = Faktor konversi konsumsi C maksimum tiap unit *oxygen demand*
= 12/32 = 0,375 g C/g *oxygen demand*

Ketika laju produksi biomassa tidak dapat dihitung, maka nilai default *yield* biomassa dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2. 2 Nilai *Default* dari Koreksi Metan dan *Yield* Biomassa

Sistem Pengolahan	MCF ^a	λ
Proses Pengolahan Air Limbah		
Proses pengolahan dengan aerasi (contoh: Sistem <i>activated sludge</i>), dikelola dengan baik	0	0,65 ^b
Proses pengolahan dengan aerasi, daerah anoksik	0,3	0,45 ^{b,c}
Proses pengolahan anaerobik (contoh: reaktor anaerobik)	0,8	0,1 ^{c,d}
Kolam Fakultatif, dangkal (kedalaman < 2 m)	0,2	0
Kolam Fakultatif, pada (kedalaman ≥ 2 m)	0,8	0
Proses Pengolahan Lumpur		
<i>Aerobic sludge digestion</i>	0,8	Menggunakan λ dari proses pengolahan air limbah
<i>Anaerobic sludge digestion</i>		

^a Sumber : IPCC (2006), US. EPA (2010).

^b Sumber : Choubert et. al (2009), Muller et.al. (2003), Munz (2008), US.EPA (2010); λ dinyatakan dalam g-COD biomassa terproduksi/ g-COD yang digunakan; sama dengan λ pada g-C biomassa yang terproduksi /g-C yang digunakan ketika menggunakan CF_C default pada persamaan 2.3.

^c Sumber : Ammary (2004), US. EPA (2010), λ dinyatakan dalam g-VSS yang terproduksi/ g-COD yang terdegradasi, dikonversi menjadi λ pada g-C biomassa terproduksi/g-C yang digunakan dengan menggunakan CF_S dan CF_C default pada persamaan 2.3 dengan $\lambda = \lambda \text{ yang dihasilkan} \times (CF_S / CF_C)$.

^d Sumber : Low and Chase (1999), US. EPA (2010), λ dinyatakan dalam g-VSS yang terproduksi/ g-COD yang terdegradasi, dikonversi menjadi λ pada g-C biomassa terproduksi/g-C yang digunakan dengan menggunakan CF_s dan CF_c default pada persamaan 2.3 dengan $\lambda = \lambda$ yang dihasilkan x (CF_s/ CF_c).

Pada produksi lumpur dalam fasilitas pengolahan air limbah dapat mengalami proses *digesting* dalam unit tersebut, sehingga menghasilkan emisi CO_2 dan CH_4 . Persamaan 2.4 dan 2.5 berikut ini merupakan metode yang digunakan untuk menghitung estimasi emisi CO_2 dan CH_4 yang dihasilkan dari *digesting* lumpur biologis yang terproduksi dalam sistem pengolahan air limbah.

$$CO_2 = 10^{-6} \times Q_s \times MLVSS \times CF_s \times \frac{44}{12} \times (1 - MCF_{ww} \times BG_{CH_4}) \dots \dots \dots 2.4$$

$$CH_4 = 10^{-6} \times Q_s \times MLVSS \times CF_s \times \frac{16}{12} \times (1 - MCF_{ww} \times BG_{CH_4}) \dots 2.5$$

Dimana:

CO_2 = Laju emisi CO_2 (ton CO_2 /jam)

CH_4 = Laju emisi CH_4 (ton CH_4 /jam)

10^{-6} = Faktor unit konversi (ton/g)

Q_s = Debit lumpur (m^3 /jam)

$MLVSS$ = Konsentrasi *Mixed Liquor Volatile Suspended Solids* ($MLVSS$) dari aliran lumpur ($mg/L = g/m^3$)

CF_s = Faktor koreksi karbon pada biomassa
= 0,53 g C/g $MLVSS$ (default)

MCF_s = Faktor koreksi metan untuk lumpur *digesting*, menunjukkan jumlah lumpur yang terkonversi secara anaerobik (lihat tabel 2.2)

2.5 Alga

Alga merupakan organisme eukariotik dan dapat tergolong sebagai makhluk hidup uniseluler dan multiseluler. Adanya klorofil dan pigmen lain dalam alga dapat membantu proses fotosintesis. Alga tidak mempunyai akar, batang, atau daun sejati. Sebagian besar alga merupakan organisme fotoautotrof dan dapat melakukan fotosintesis, beberapa diantaranya merupakan kemoheterotrof dan mendapatkan energi dari reaksi kimia serta nutrisi dari bahan kimia yang terbentuk. Mikoalga dapat menyerap karbondioksida (CO_2) menggunakan energi matahari dengan

efisiensi sepuluh kali lipat lebih baik dari tumbuhan terestrial (Xin, 2011). Berikut ini merupakan karakteristik alga:

- a. Tubuhnya berupa thallus tidak bisa dibedakan antara akar, batang, dan daunnya
- b. Zigot tidak bisa berkembang menjadi embrio multiselular dan hanya berada di dalam oogonium
- c. Banyak dari alga menghasilkan klorofil, tapi ada alga tertentu yang fakultatif atau obligat heterotropik, dan sedikit dari jenis alga yang fagotropik
- d. Mayoritas alga adalah fotoautotrof
- e. Banyak dari alga mempunyai habitat di akuatik.

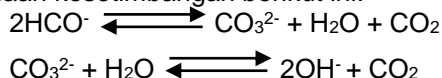
Menurut De Morraais (2007) Banyak spesies alga yang terlihat sebagai alga hijau, merah, dan cokelat termasuk dalam kelompok *Chlorophyta*, *Rhodophyta*, dan *Phaeophyta*. Alga dapat tumbuh dalam berbagai habitat seperti air tawar, air laut, laut dalam dan bebatuan. Berikut ini merupakan parameter fisik dan kimia yang mempengaruhi pertumbuhan alga:

- a. Cahaya/ radiasi sinar/ suhu
- b. Karbondioksida
- c. pH
- d. Pengadukan/ aerasi
- e. Salinitas, dll.

Alga tumbuh di berbagai habitat seperti kolam terbuka dan tertutup, foto bioreaktor, kotoran, air limbah, gurun, pasir, air laut, di industri yang menghasilkan karbondioksida (CO₂), dan lain-lain. Secara keseluruhan alga ditemukan di tempat-tempat lembab atau di permukaan air dan yang paling umum adalah ditemukan di daerah terestrial yaitu di lingkungan akuatik (Miller, 2009). Cahaya merupakan sumber energi yang penting bagi pertumbuhan alga dan faktor pembatas utama (waktu pencahayaan) pada 3240 lux (300 ft candle). Jumlah waktu pencahayaan efektif bagi alga adalah pada waktu penyinaran lebih dari 6 jam per hari dapat mereproduksi alga pada konsentrasi diatas 500 mg/L. Rendahnya temperatur mampu meningkatkan kelarutan dan konsentrasi CO₂ terlarut sehingga dapat meningkatkan laju pertumbuhan dan *yield* (Ip, 1982).

Mikroalga dalam perairan (*pond*) merupakan makhluk mono sel eukariot. Sel alga berwarna hijau seperti daun yang mengandung klorofil yang digunakan alga dalam menangkap

cahaya pada proses fotosintesis. Alga menggunakan energi cahaya untuk mensintesa karbon yang bersumber dari karbon tunggal bebas (CO_2). Alga meningkatkan kandungan oksigen dalam air selama proses fotosintesis yang mana sangat bermanfaat bagi bakteri heterotrof untuk respirasi dalam upaya *me-removal* kandungan BOD. Ketika berfotosintesis dengan cepat alga akan menaikkan pH di dalam kolam hingga mencapai $> 9,4$ (Mara, 2003). Hal ini disebabkan karena oksidasi karbon (C) menjadi CO_2 sehingga menaikkan pH. Kenaikan pH mengakibatkan perubahan nilai alkalinitas dengan hasil reaksi bahwa karbon dioksida mampu diestruk untuk pertumbuhan alga bersamaan dengan pembentukan bikarbonat dari karbonat sesuai dengan persamaan kesetimbangan berikut ini:



Jadi, pengurangan kadar karbondioksida oleh alga cenderung menggeser bentuk alkalinitas dari bikarbonat menjadi karbonat, dan karbonat menjadi hidroksida (Sawyer, 2003).

2.6 Potensi Serapan Karbondioksida (CO_2) oleh Alga

Menangkap karbondioksida merupakan metode untuk upaya mitigasi gas rumah kaca dengan melakukan penumbuhan alga (Mike, 2009). Mikroalga dapat memfiksasi CO_2 dari 3 sumber yang berbeda, yaitu CO_2 dari atmosfer, CO_2 pada gas lepasan industri, dan CO_2 dari karbonat terlarut. (Wang, et.al., 2008).

Menurut Stepan *et. al.* (2012) pada saat kondisi petumbuhan fototropik dalam kolam, alga menggunakan karbondioksida (CO_2) di atmosfer sebagai sumber karbon untuk mensintesis senyawa organik. Namun, masalah utama dalam kultivasi alga adalah terbatasnya karbon dioksida (CO_2) yang dikarenakan :

1. Konsentrasi karbon dioksida (CO_2) di atmosfer relatif rendah (kurang dari 400 ppm)
2. Suspensi kultur alga dalam kolam yang relatif sangat dangkal (15-30 cm)
3. Produktivitas area yang tinggi
4. Laju transfer karbondioksida (CO_2) dari atmosfer ke dalam kolam yang relatif rendah

Setiap jenis alga mempunyai kemampuan masing-masing dalam melakukan penyerapan CO₂. Kemampuan masing-masing jenis alga dalam menyerap CO₂ dapat dilihat pada tabel 2.3

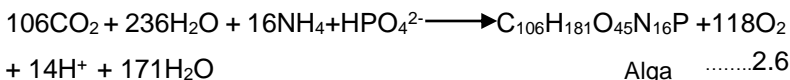
Tabel 2. 3 Kemampuan Berbagai Spesies Alga dalam Menyerap CO₂

No	Alga	Laju Fiksasi CO ₂ (mg/L/hari)	% Biomassa	Sumber
1	<i>Dunaliella tertiolecta</i>	272,4	70,42	Bittencourt, S.,B., et. al, 2010
2	<i>Dunaliella tertiolecta</i>	313	N/A*	Kishimoto, et. al, 1997
3	<i>Chlorella vulgaris</i>	252,64	86,68	Bittencourt, S.,B., et. al, 2010
4	<i>Chlorella vulgaris</i>	865	N/A*	Hirata, et. al, 1996
5	<i>Chlorella vulgaris</i>	624	N/A*	Yeoung-Sang Yun, et.al, 1997
6	<i>Spirulina platensis</i>	318,61	80,40	Bittencourt, S.,B., et. al, 2010
7	<i>Spirulina platensis</i>	413	N/A*	De Morais and Costa, 2007
8	<i>Botryococcus braunii</i>	1100	N/A*	Marukami dan Ikenouochi, 1997
9	<i>Botryococcus braunii</i>	496,98	87,96	Sydney, et. al, 2010
10	<i>Chlorella sp. UK001</i>	31,8	4,3	Hirata, et. al, 1996
11	<i>Synechocystis aquatilis</i>	1500	N/A*	Marukami dan Ikenouochi, 1997

Sumber: Singh dan Singh, 2014

Menurut penelitian yang dilakukan Prapta (2012), jumlah rata-rata CO₂ yang diserap alga dengan pencahayaan alami rata-rata sebesar 1,42 mg CO₂/hari. Pada pencahayaan kombinasi antara cahaya alami dan cahaya buatan (lampu) sebesar 5,08 mg CO₂/hari. Perhitungan jumlah karbondioksida yang terserap didapatkan dari perbandingan stoikiometri pada reaksi fotosintesis alga. Menurut Mara (2003) reaksi metabolisme dalam sel alga dapat dijelaskan dalam persamaan berikut:

Fotosintesis:



Berdasarkan persamaan reaksi diatas, dapat diketahui bahwa jumlah CO₂ yang dimanfaatkan oleh alga untuk fotosintesis adalah sebanding dengan jumlah materi organik yang dihasilkan (Setiawan *et. al.*, 2008). Pada reaksi di atas dapat diketahui bahwa 1 mol sel alga baru dengan berat molekul 2428 gram terbentuk dengan membutuhkan karbon dioksida sebanyak 106 mol. Sehingga 1 gram alga ekivalen dengan 1,92 gram CO₂.

$$\rho = \frac{\text{berat CO}_2 \text{ yang terserap}}{\text{berat sel alga yang terbentuk}} = \frac{106 \times 44}{2428} = 1,92 \text{ g CO}_2 \dots\dots\dots 2.7$$

Nilai biomassa alga didapatkan dari hasil analisis klorofil a alga. Menurut APHA (2005) jumlah biomassa alga setara dengan 1,5% dari berat kering alga. Biomassa alga dapat diestimasi dengan mengalikan nilai klorofil a dengan faktor yaitu 67.

Klorofil dalam kloroplas tumbuhan merupakan pigmen warna yang berperan dalam proses fotosintesis. Tiga fungsi utama klorofil dalam proses fotosintesis adalah memanfaatkan energi matahari, mimicu fiksasi CO₂ untuk menghasilkan karbohidrat dan menyediakan energi bagi ekosistem secara keseluruhan. Tanaman tingkat tinggi mempunyai dua macam klorofil yaitu klorofil a yang berwarna hijau tua dan klorofil b yang berwarna hijau muda. Klorofil a dan klorofil b paling kuat menyerap cahaya di bagian merah (600-700 nm), dan paling sedikit menyerap cahaya hijau (500-600 nm). Sedangkan cahaya berwarna biru diserap oleh karotenoid. Karotenoid membantu menyerap cahaya, sehingga spectrum cahaya matahari dapat dimanfaatkan dengan lebih baik.

Energi yang diserap oleh klorofil b dan karotenoid diteruskan kepada klorofil a untuk digunakan dalam proses fotosintesis fase I (reaksi terang) yang terdiri dari fotosistem I dan II, demikian pula dengan klorofil b. Klorofil a paling banyak terdapat pada fotosistem II sedangkan klorofil b paling banyak terdapat pada fotosistem I (Ai dan Banyo, 2011).

2.7 Penelitian Terdahulu

Penelitian yang dilakukan oleh Hasriyani (2010), dilakukan pengukuran debit pada saluran inlet Boezem Morokrempangan yaitu pada saluran Sungai Greges dan Puwodadi dan pada saluran outlet Boezem Morokrempangan. Pengukuran debit dilakukan pada saat terjadi hujan dan saat tidak terjadi hujan. Hasil pengukuran debit dapat dilihat pada Tabel 2.4.

Tabel 2. 4 Hasil Pengukuran Debit Air tiap Saluran

No	Nama Saluran	Debit (m ³ /detik)	
		Tidak Hujan	Hujan
1	Purwodadi	0,51	2,54
2	Greges	3,46	39,61
3	Outlet	1,82	22,18

Sumber: Hasriyani, 2010

Penelitian yang dilakukan oleh Septina (2011), didapatkan data sekunder debit pada saluran inlet Boezem Morokrempangan yaitu pada saluran Sungai Greges dan Puwodadi. Hasil pengukuran debit Boezem Morokrempangan bagian Selatan dari data sekunder yang didapatkan dari data dinas PU tahun 2007 dapat dilihat pada Tabel 2.5.

Tabel 2. 5 Hasil Pengukuran Debit Air tiap Saluran

No	Nama Saluran	Debit (m ³ /detik)		Total Debit (m ³ /detik)
		Banjir	Air Limbah	
1	Purwodadi	14,85	0,28	15,13
2	Greges	174,38	3,11	177,49
	Total	189,23	3,39	192,62

Sumber: Septina, 2011

Dalam penelitian yang dilakukan oleh Siregar (2012) dilakukan sampling pada periode waktu musim kemarau, musim transisi antara kemarau dan hujan, serta musim hujan. Pada penelitian tersebut ditemukan 39 genus alga di perairan Boezem Morokrembangan. Hasilnya alga yang mendominasi adalah jenis alga *Oscillatoria sp.* dan *Spirullina sp.*

BAB 3

METODE PENELITIAN

3.1 Umum

Secara garis besar, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui besarnya emisi gas rumah kaca yaitu gas metana (CH_4) dan gas karbon dioksida (CO_2), pola persebaran alga pada Boezem Morokrempangan, dan potensi alga dalam menyerap gas rumah kaca pada Boezem Morokrempangan bagian selatan. Sebelum memperoleh nilai emisi gas rumah kaca yang dihasilkan, maka dilakukan analisis terhadap kualitas air dengan uji BOD, COD, MLSS, dan MLVSS untuk mengetahui kandungan zat organik pada Boezem Morokrempangan. Hasil analisis zat organik pada air Boezem Morokrempangan yang ditunjukkan dengan nilai BOD dan COD akan dikorelasikan dengan besarnya gas metana (CH_4) dan gas karbon dioksida (CO_2) yang terbentuk. Kemudian menghitung laju emisi gas rumah kaca menggunakan persamaan untuk mengestimasi gas rumah kaca pada unit pengolahan air limbah dari US. EPA pada tahun 2010.

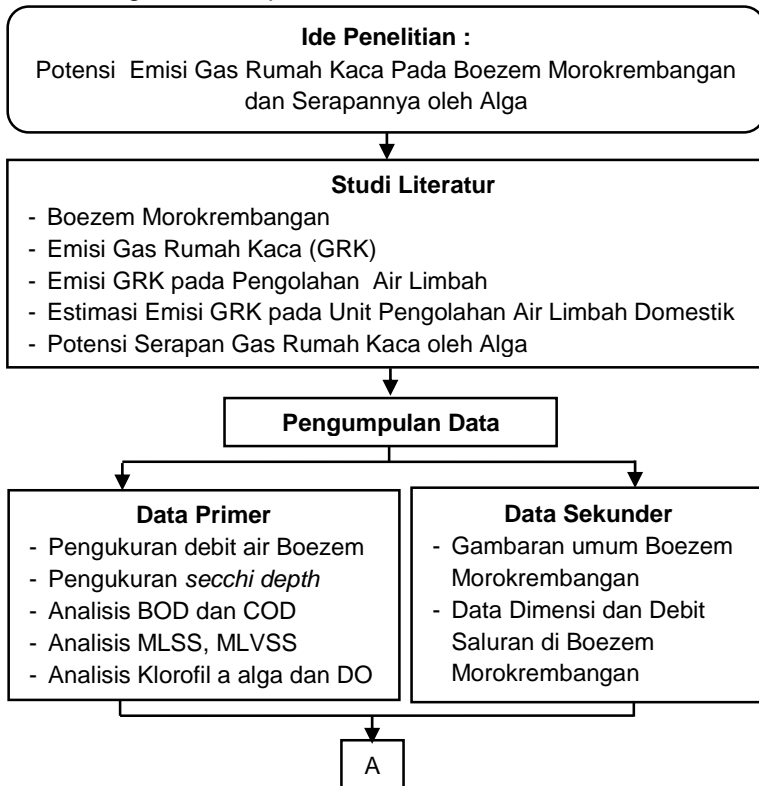
Analisis selanjutnya adalah melakukan analisis klorofil a alga dengan cara mengambil sampel air yang mengandung alga dari titik yang sudah ditentukan. Selain itu dilakukan pula pengukuran kedalaman penetrasi cahaya matahari (*secchi depth*) ke dalam perairan Boezem dan pengukuran DO air. Analisis ini bertujuan untuk mengetahui jumlah biomassa alga dalam perairan Boezem Morokrempangan sehingga diketahui pola persebaran alga pada Boezem. Langkah selanjutnya adalah menghitung serapan karbon dioksida (CO_2) oleh alga, dari hasil tersebut diketahui potensi serapan gas rumah kaca oleh alga pada Boezem Morokrempangan.

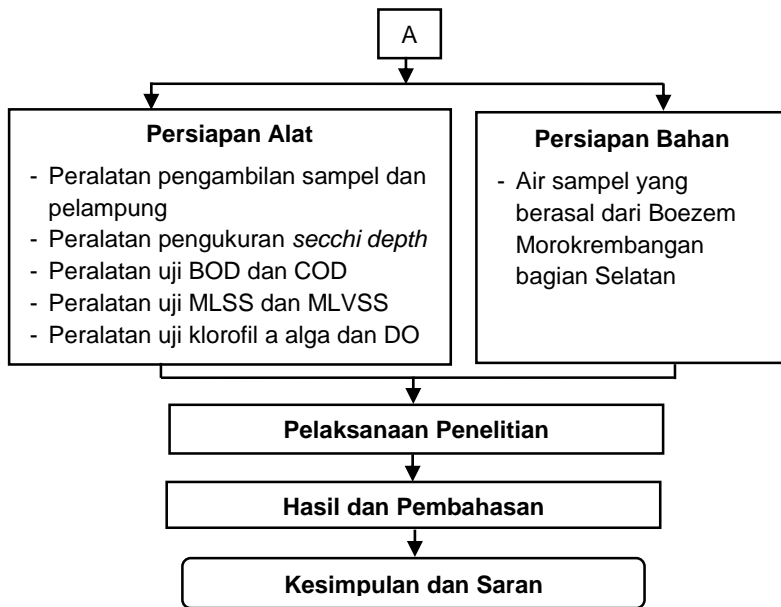
3.2 Kerangka Penelitian

Acuan dalam melaksanakan penelitian adalah metode penelitian, yang disusun berdasarkan pemikiran akan adanya suatu permasalahan terhadap ide penelitian. Metode penelitian disusun dengan baik dan benar dalam Tugas Akhir ini agar dapat mencapai tujuan dari penelitian yang dilaksanakan. Penyusunan kerangka penelitian dilakukan dengan tujuan:

1. Sebagai gambaran awal mengenai tahapan penelitian yang akan dilaksanakan agar pelaksanaan penelitian dapat terencana secara sistematis.
2. Mengetahui tahapan-tahapan yang harus dilakukan dalam pelaksanaan penelitian dari awal penelitian sampai penulisan laporan akhir penelitian.
3. Mempermudah untuk mengetahui hal-hal yang berkaitan dengan pelaksanaan penelitian untuk mencapai tujuan penelitian.
4. Menghindari dan memperkecil kemungkinan terjadinya kesalahan yang terjadi selama penelitian berlangsung.

Kerangka penelitian secara keseluruhan dari Tugas Akhir ini digambarkan pada Gambar 3.1.





Gambar 3. 1 Kerangka Penelitian

3.3 Ide Penelitian

Ide penelitian ini berasal dari penelitian terdahulu mengenai kualitas air yang masuk ke dalam Boezem Morokrembangan yang mengandung zat organik. Zat organik berasal dari air limbah domestik yang masuk ke dalam Boezem Morokrembangan bagian selatan melalui dua saluran yaitu saluran Sungai Greges dan Sungai Purwodadi. Kandungan zat organik pada air Boezem mengakibatkan terjadinya proses degradasi bahan organik yang dapat menghasilkan emisi gas rumah kaca yaitu gas metana (CH_4) dan gas karbon dioksida (CO_2). Dari permasalahan tersebut, maka diperlukan penelitian mengenai besarnya potensi emisi gas rumah kaca pada Boezem Morokrembangan agar dapat dilakukan upaya untuk mereduksi emisi gas rumah kaca. Upaya untuk mereduksi emisi gas rumah kaca dapat dilakukan dengan memanfaatkan alga yang tumbuh di Boezem Morokrembangan, sehingga dalam penelitian ini juga dilakukan penelitian tentang pola persebaran alga dan analisis

biomassa alga pada Boezem sehingga dapat dihitung potensi serapan gas rumah kaca oleh alga.

3.4 Studi Literatur

Studi literatur dilakukan dengan tujuan untuk mendapatkan dasar teori yang kuat yang berkaitan dengan penelitian ini, sehingga dapat menjadi acuan dalam melaksanakan kegiatan penelitian. Studi literatur dilakukan dengan mencari bahan-bahan yang menunjang penelitian dari sumber-sumber yang ada. Sumber literatur meliputi *text book*, modul, jurnal/artikel ilmiah, laporan penelitian, tugas akhir, dan tesis terdahulu yang berhubungan dengan penelitian. Dalam penelitian ini dilakukan studi literatur tentang Boezem Morokrembangan, emisi gas rumah kaca, emisi gas rumah kaca pada pengolahan air limbah, estimasi emisi gas rumah kaca pada pengolahan air limbah, dan potensi serapan gas rumah kaca oleh alga.

3.5 Pengumpulan Data

3.5.1 Data Primer

Data primer yang dibutuhkan dalam penelitian ini diperoleh dari hasil pengamatan dan pengukuran di lokasi studi serta hasil analisis laboratorium. Dalam penelitian ini dilakukan pengumpulan data primer yang dijabarkan sebagai berikut:

1. Pengukuran di lokasi studi yang meliputi pengukuran debit air yang masuk dan keluar pada Boezem Morokrembangan bagian selatan dan pengukuran *secchi depth* di Boezem Morokrembangan bagian selatan
2. Analisis laboratorium
Analisis laboratorium dalam penelitian ini meliputi:
 - a. Analisis BOD dan COD
 - b. Analisis MLSS dan MLVSS
 - c. Analisis klorofil a alga pada Boezem Morokrembangan
 - d. Analisis *Dissolved Oxygen* (DO)

3.5.2 Data Sekunder

Dalam penelitian ini dilakukan pengumpulan data sekunder yang meliputi:

- Gambaran umum Boezem Morokrembangan
- Dimensi Boezem Morokrembangan
- Debit Boezem Morokrembangan

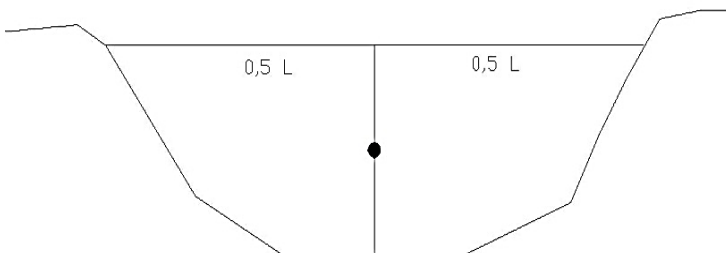
3.6 Pelaksanaan Penelitian

3.6.1 Lokasi Sampling

Penelitian ini menggunakan parameter analisis BOD, COD, MLSS, MLVSS, DO, dan klorofil a alga. Lokasi sampling pada masing-masing analisis ditentukan sebagai berikut:

a. Lokasi Sampling analisis BOD, COD, MLSS, dan MLVSS

Penentuan lokasi sampling untuk analisis BOD, COD, MLSS, dan MLVSS dilakukan pada titik input/titik masuknya air ke Boezem yang berasal dari dua sungai yaitu Sungai Greges dan Sungai Purwodadi serta titik output Boezem. Pengambilan sampel untuk analisis BOD, COD, MLSS, dan MLVSS ini mengacu pada Standar Nasional Indonesia (SNI) 6989.57:2008 yaitu titik pengambilan sampel air sungai ditentukan berdasarkan debit air sungai. Berdasarkan literatur dari dinas PU (2007) debit air limbah Sungai Purwodadi adalah $0,28 \text{ m}^3/\text{detik}$ dan Sungai Greges sebesar $3,11 \text{ m}^3/\text{detik}$. Melalui data tersebut ditentukan lokasi titik sampling diambil pada satu titik ditengah sungai pada kedalaman 0,5 kali kedalaman dari permukaan. Pada pengambilan sampel air di titik output Boezem Morokrembangan menyesuaikan seperti pada titik input. Pengambilan sampel air untuk analisis BOD, COD, MLSS, dan MLVSS ini dilaksanakan pada 3 waktu dalam sehari yaitu sekitar pukul 07.00-09.00, 11.00-13.00, dan 14.00-16.00 WIB untuk mengantisipasi fluktuasi debit pada setiap saluran dan dilaksanakan selama 7 hari untuk mendapatkan akurasi data yang baik.



Gambar 3. 2 Titik Pengambilan Sampel pada Penampang Hidrolis Sungai

Sumber: Badan Standardisasi Indonesia (2008)

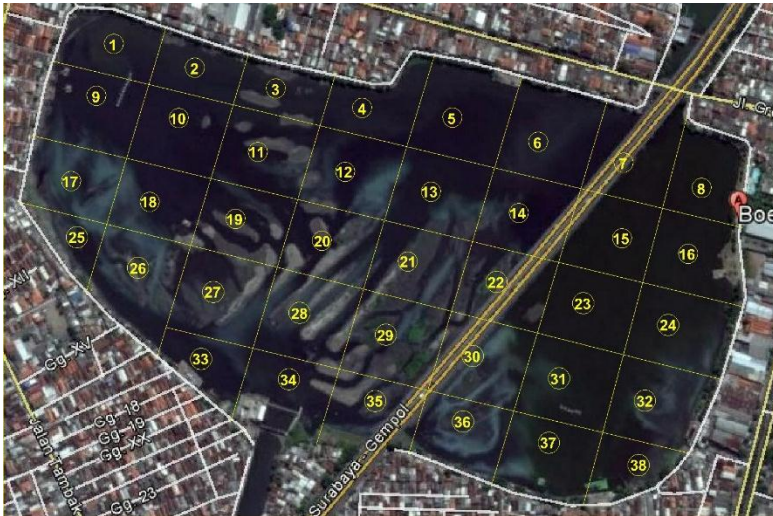


Gambar 3. 3 Peta lokasi titik sampling BOD, COD, MLSS, MLVSS pada Boezem Morokrempangan

b. Lokasi Sampling Analisis Klorofil a Alga, DO, dan Pengukuran *Secchi Depth*

Pengambilan sampel klorofil a alga dan DO dilakukan di seluruh area Boezem Morokrempangan bagian selatan. Penentuan lokasi sampling dilakukan dengan membagi area Boezem Morokrempangan dengan metode plot yang berbentuk segi empat. Ukuran plot disesuaikan dengan luas Boezem dan kemampuan analisis. Dalam penelitian ini ditentukan ukuran plot sebesar 100 m x 100 m hal ini mempertimbangan luas Boezem Morokrempangan bagian Selatan yang mencapai $\pm 39,13$ ha sehingga dihasilkan 38 titik sampling. Pengambilan sampel dilakukan 2 kali sehingga akan dihasilkan keakuratan data yang baik.

Pada saat melakukan sampling klorofil a alga, DO, dan pengukuran maka dilakukan pengukuran kedalaman air yang terkena penetrasi cahaya matahari pada setiap area plot menggunakan alat yaitu *secchi disk*. Alat ini berfungsi untuk mengukur kecerahan air dan seberapa dalam cahaya matahari dapat menembus perairan Boezem Morokrempangan sehingga dapat diketahui batas kedalaman alga tumbuh. Pembagian plot lokasi titik sampling klorofil a alga dapat dilihat pada gambar 3.4.



Gambar 3. 4 Peta lokasi titik sampling Klorofil a dan DO pada Boezem Morokrempangan

3.6.2 Pelaksanaan Penelitian Lapangan

1. Pengukuran Debit

Pengukuran debit dilakukan pada setiap saluran yang masuk Boezem Morokrempangan bagian selatan yaitu pada saluran Sungai Greges dan Purwodadi dan pada saluran keluarnya air Boezem Morokrempangan. Pengukuran debit air mengacu pada Standar Nasional Indonesia (SNI) 8066:2015 tentang tata cara pengukuran debit aliran sungai dan saluran terbuka menggunakan alat ukur arus dan pelampung. Alat yang digunakan untuk mengukur debit adalah pelampung yang dapat mengukur kecepatan aliran air, meteran untuk mengukur luas penampang, dan *stopwatch* untuk menandai waktu pengukuran.

Prinsip pengukuran debit adalah dengan mengukur kecepatan aliran, luas penampang basah, dan kedalaman. Kecepatan aliran diukur menggunakan alat pelampung. Pengukuran penampang basah dengan cara mengukur lebar saluran dengan menggunakan meteran, sedangkan pengukuran kedalaman dilakukan dengan menggunakan alat ukur kedalaman

yaitu tali dan pemberat. Dari hasil itu nantinya akan dilakukan perhitungan debit Boezem Morokrengan di setiap titik yaitu saluran Kali Grege dan Purwodadi.

Perhitungan debit menggunakan rumus:

$$Q = A \times v \dots\dots\dots 3.1$$

Dimana: Q = debit air ($m^3/detik$)

A = luas penampang basah saluran (m^2)

v = kecepatan aliran air ($m/detik$)

2. Pengambilan Sampel

- Analisis BOD, COD, MLSS, dan MLVSS

Pada pengambilan sampel untuk analisis BOD, COD, MLSS, dan MLVSS perlu dipastikan peralatan yang digunakan harus bersih. Pengambilan sampel dilakukan dengan menggunakan alat sampling khusus untuk mengambil sampel air. Selanjutnya sampel air dari tersebut disimpan dalam botol plastik agar mudah dibawa dan terhindar kontaminasi dari luar. Langkah penyimpanan sampel air dalam botol plastik adalah dengan menuangkan air ke dalam botol plastik hingga penuh dan tidak ada gelembung udara yang tersisa kemudian botol plastik ditutup dengan rapat.

- Analisis klorofil a alga

Pengambilan sampel untuk analisis klorofil alga dilakukan dua kali untuk mengetahui rata-rata konsentrasi alga. Pengambilan sampel air dilakukan pada titik sampling sedalam 40 cm di bawah permukaan air, hal ini berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Sutherland *et. al.* (2010) bahwa konsentrasi biomassa alga paling tinggi ada pada kedalaman tersebut. Langkah selanjutnya adalah dengan menuangkan air yang mengandung alga dalam botol sampel, selanjutnya dilakukan pengawetan di dalam box cooler.

3. Pengukuran Kedalaman Penetrasi Cahaya Matahari (*Secchi Depth*)

Pengukuran kedalaman penetrasi cahaya matahari (*secchi depth*) dilakukan dengan menggunakan alat *secchi disk* pada 38 titik untuk mendeteksi seberapa dalam alga dapat tumbuh pada area Boezem Morokrengan. Pengukuran ini dilakukan bersamaan dengan pengambilan sampel air untuk analisis klorofil a alga dan DO perairan Boezem Morokrengan.

3.6.3 Pelaksanaan Penelitian Laboratorium

1. Analisis BOD (*Biochemical Oxygen Demand*) dan COD (*Chemical Oxygen Demand*)

Nilai BOD (*Biochemical Oxygen Demand*) menunjukkan jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mikroorganisme dalam menguraikan atau mengoksidasi hampir semua zat organik yang tersuspensi dalam air. Pada penelitian ini digunakan metode analisis winkler untuk menentukan nilai BOD₅, yaitu dengan memasukkan sampel ke dalam botol winkler hingga penuh dan meluap kemudian botol winkler ditutup dengan hati-hati. Penutupan ini bertujuan agar tidak ada udara yang terperangkap didalamnya. Selanjutnya adalah diinkubasi selama 5 hari. Kadar oksigen terlarut dianalisa pada hari ke-0 dan hari ke-5. BOD₅. Nilai BOD₅ merupakan selisih DO pada hari ke 0 dan ke-5.

COD (*Chemical Oxygen Demand*) menunjukkan jumlah total oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi bahan organik secara kimiawi, baik yang dapat didegradasi secara biologis (*biodegradable*) ataupun yang sukar didegradasi secara biologis (*non biodegradable*) menjadi CO₂ dan H₂O. Pada prosedur penentuan nilai COD, oksigen yang dikonsumsi setara dengan jumlah dikromat yang diperlukan untuk mengoksidasi sampel.

2. Analisis MLSS dan MLVSS

Pengukuran MLSS (*Mixed Luquor Suspended Solids*) dan MLVSS (*Mixed Liquor Volatile Suspended Solids*) digunakan untuk mengukur konsentrasi biomassa pada sampel, analisis ini menggunakan metode analisis TSS dan TVSS secara gravimetri.

3. Analisis klorofil a alga

Analisis klorofil a pada pada Boezem Morokrempangan bagian selatan digunakan untuk melakukan pengukuran konsentrasi biomassa alga pada Boezem Morokrempangan. Klorofil a alga dianalisis dengan menggunakan metode *Spectrophotometric Determination of Chlorophyll* sesuai dengan *standard method*.

4. Analisis Dissolved Oxygen (DO)

Analisis DO pada digunakan untuk mengukur nilai DO pada air Boezem Morokrempangan bagian selatan. Pengukuran nilai DO menggunakan alat DO meter.

3.6.4 Pengolahan Data

Data yang telah didapat dari hasil analisis lapangan dan laboratorium, kemudian dilakukan pengolahan dengan menggunakan pendekatan rumus yang digunakan dan menggunakan software pengolahan data.

a. Menghitung Potensi Emisi CH_4 dan CO_2 pada Boezem Morokrempangan

Pada penelitian ini, untuk menghitung potensi emisi gas rumah kaca yaitu berupa gas CH_4 dan CO_2 digunakan pendekatan model rumus oleh US.EPA dalam panduan metodologi untuk mengestimasi emisi biogenik pada tahun 2010. Dimana persamaan umum yang digunakan adalah persamaan 2.1, 2.2, 2.3, 2.4, dan 2.5. Persamaan ini digunakan dalam penelitian ini karena dengan mengasumsikan Boezem Morokrempangan sebagai suatu kolam stabilisasi yang didalamnya terdapat proses degradasi air limbah baik secara aerobik maupun anaerobik.

Diasumsikan bahwa di dalam Boezem terdapat proses digesting (pada kondisi anaerobik) pada lumpur yang mengendap dalam Boezem yang dapat menghasilkan emisi gas CH_4 dan CO_2 . Hal ini sesuai dengan karakteristik Boezem Morokrempangan menurut Putri (2014) bahwa kedalaman rata-rata adalah 3 meter. Sedangkan menurut Al-Hashimi dan Hussain (2013) kondisi anaerobik dapat dicapai pada kedalaman kolam 2-5 meter. Dengan analisis demikian maka digunakanlah perhitungan emisi gas rumah kaca berupa CH_4 dan CO_2 dengan pendekatan persamaan 2.4 dan 2.5 untuk mengetahui besarnya emisi gas rumah kaca pada proses digesting lumpur di dalam Boezem Morokrempangan bagian selatan. Sedangkan pada fase liquid juga dipertimbangkan pada perhitungan emisi gas rumah kaca pada Boezem Morokrempangan, karena pada fase liquid juga ada dalam kondisi anaerobik sehingga memungkinkan terjadinya proses degradasi zat organik yang menimbulkan emisi gas rumah kaca. Perhitungan emisi gas rumah kaca pada fase liquid menggunakan persamaan 2.1 dan 2.2. Dari hasil perhitungan emisi gas rumah kaca pada proses digesting lumpur yang mengendap pada dasar Boezem dan pada proses biodegradasi zat organik pada air Boezem maka dapat diketahui jumlah total gas rumah kaca yang diemisikan dari Boezem.

b. Menghitung Potensi Serapan Alga terhadap CO₂ pada Boezem Morokrembangan

Setelah mengetahui besarnya CO₂ yang diemisikan pada Boezem Morokrembangan maka dapat dihitung potensi serapannya oleh alga yang ada pada Boezem. Perhitungan jumlah biomassa alga dilakukan pada setiap plot lokasi sampling sehingga akan dihasilkan hasil yang representatif pada keseluruhan area Boezem. Setelah diketahui nilai klorofil a alga maka dapat dibuat kontur persebaran alga pada Boezem Morokrembangan.

Perhitungan potensi serapan alga dilakukan dengan cara menghitung konsentrasi biomassa alga di dalam Boezem Morokrembangan melalui analisis klorofil a pada alga. Untuk mengetahui jumlah biomassa alga pada satu area plot maka dilakukan dengan mengalikan nilai biomassa alga dengan volume air yang ditumbuhi alga pada plot area tersebut. Perhitungan volume air didapatkan dari luas area plot dikalikan dengan batas kedalaman cahaya dapat menembus badan perairan Boezem pada area tersebut.

Selanjutnya dari penelitian yang dilakukan Prapta (2012) mengenai kemampuan alga dalam menyerap karbondioksida diketahui dengan cara mengalikan biomassa alga dengan faktor konversi yang didapatkan dari korelasi zat organik yang dihasilkan sebanding dengan jumlah karbon dioksida yang digunakan dalam proses fotosintesis alga. Jumlah karbon dioksida yang diserap dapat dihitung dengan persamaan 3.2.

$$\text{Gram CO}_2 = \text{Gram Biomassa} \times 1,92 \dots \dots \dots 3.2$$

c. Pola Persebaran Alga pada Boezem Morokrembangan bagian selatan

Hasil analisis klorofil a alga, kedalaman secchi disk, dan DO kemudian diolah menggunakan software surfer 10 untuk mengolah data menjadi bentuk peta kontur. Hal ini bertujuan untuk mengetahui pola persebaran klorofil a alga serta keterkaitan antar parameter.

3.7 Hasil dan Pembahasan

Pada sub bab ini, seluruh hasil penelitian akan ditampilkan dalam bentuk grafik, tabel, maupun bentuk deskriptif.

Data hasil penelitian yang akan dibahas pada sub bab ini antara lain:

1. Perhitungan emisi CH_4 dan CO_2 dengan menggunakan pendekatan persamaan oleh US. EPA 2010
2. Pola penyebaran alga pada ekosistem perairan Boezem Morokrembangan bagian selatan
3. Perhitungan jumlah serapan CO_2 oleh alga pada Boezem Morokrembangan bagian selatan

Hasil dan pembahasan juga mengacu pada literatur yang ada, agar didapatkan hasil yang akurat.

3.8 Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan dan saran disusun berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan. Kesimpulan yang diberikan merupakan jawaban dari rumusan masalah dan tujuan penelitian. Kesimpulan dalam penelitian ini dimaksudkan untuk memberikan informasi tentang besarnya emisi gas rumah kaca pada Boezem Morokrembangan, pola penyebaran alga pada Boezem, dan potensi serapan gas rumah kaca oleh alga. Saran diberikan untuk perbaikan penelitian selanjutnya, sehingga dapat mengurangi tingkat kesalahan dan meningkatkan efisiensi penelitian.

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengukuran Debit Air Boezem Morokrembangan Bagian Selatan

Pengukuran debit air Boezem Morokrembangan bagian selatan dilakukan untuk mengetahui besar air yang masuk pada inlet dan keluar pada outlet Boezem Morokrembangan bagian selatan sehingga dapat dilakukan perhitungan untuk mendapatkan besarnya emisi gas rumah kaca pada Boezem Morokrembangan bagian selatan melalui beban yang masuk. Pengukuran debit dilaksanakan selama 7 hari berturut-turut pada tanggal 20 September 2017 hingga 26 September 2017 selama waktu pagi (antara pukul 07.00-09.00 WIB), siang (antara pukul 11.00-13.00 WIB), dan sore (antara pukul 14.00-16.00 WIB) untuk mengetahui fluktuasi debit Boezem Morokrembangan. Pengukuran debit dilakukan pada 3 saluran yaitu inlet Boezem Morokrembangan yang terdiri dari Sungai Purwodadi dan Sungai Greges, serta outlet Boezem Morokrembangan.

Pengukuran debit ini mengacu pada SNI 8066:2015 tentang tata cara pengukuran debit aliran sungai dan saluran terbuka menggunakan alat ukur arus dan pelampung. Pada penelitian ini digunakan alat untuk mengukur kecepatan aliran menggunakan pelampung. Prinsip pengukuran debit adalah mengukur kecepatan aliran, luas penampang basah, dan kedalaman. Pada penelitian ini dilakukan pengukuran kecepatan aliran dengan menggunakan alat pelampung. Pengukuran luas penampang basah dilakukan dengan cara membagi setiap saluran dengan beberapa segmen dan disetiap segmen dilakukan pengukuran kedalaman muka air. Hasil pengukuran didapatkan kecepatan aliran dan luas penampang basah setiap saluran yang kemudian digunakan untuk menghitung debit air dengan rumus berikut ini:

$$Q = A \times v \dots\dots\dots(4.1)$$

dimana:

Q = debit air (m³/detik)

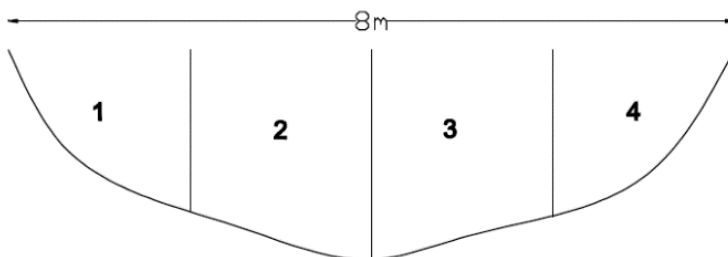
A = luas penampang basah saluran (m²)

v = kecepatan aliran air (m/detik)

Pada pengukuran debit ini diperlukan koreksi terhadap kedalaman air dikarenakan jika pengukuran kedalaman dilakukan dengan menggunakan tali dan jembatan sebagai sarana tempat pengukuran, maka juntaian tali pengukur kedalaman dapat membentuk sudut kemiringan. Pembentukan sudut kemiringan tali terhadap jembatan inilah yang menyebabkan perlunya koreksi terhadap pengukuran kedalaman. Koreksi terhadap pengukuran kedalaman dilakukan di atas muka air dan di dalam permukaan air berdasarkan sudut yang terbentuk dari kemiringan juntaian tali pengukur.

Berdasarkan SNI 8066:2015 langkah pertama dalam menghitung debit saluran adalah dengan cara menghitung luas penampang basah saluran, setelah didapatkan data pengukuran kedalaman tiap titik pada saluran tersebut. Langkah selanjutnya adalah dengan menghitung kecepatan rata-rata pada setiap segmen yang telah dikalikan dengan faktor koreksi yang kemudian dihitung debit tiap segmen dengan persamaan 4.1. Hasil akhir debit total saluran yaitu penjumlahan debit dari setiap segmennya.

Berikut ini merupakan contoh perhitungan debit air pada Sungai Purwodadi. Perhitungan luas penampang basah menggunakan pendekatan rumus yang berbeda-beda berdasarkan bentuk segmen. Pada penelitian ini pendekatan rumus yang digunakan untuk menghitung luas penampang basah adalah rumus luas segitiga dan trapesium dengan nilai kedalaman yang sudah dikalikan dengan faktor koreksi. Pada segmen 1 dan 4 digunakan pendekatan rumus luas segitiga, sedangkan pada segmen 2 dan 3 digunakan pendekatan rumus luas trapesium.



Gambar 4. 1 Penampang Basah Sungai Purwodadi

➤ Perhitungan luas penampang basah Sungai Purwodadi

Luas penampang segmen 1

$$= \frac{1}{2} x a x t = \frac{1}{2} x 2 m x 0,46 m = 0,46 m^2$$

Luas penampang segmen 2

$$= \frac{1}{2} x (a + b) x t = \frac{1}{2} x (0,46 m + 0,47 m) x 2 m = 0,94 m^2$$

Luas penampang segmen 3

$$= \frac{1}{2} x a x t = \frac{1}{2} x (0,47 m + 0,15 m) x 2 m = 0,63 m^2$$

Luas penampang segmen 4

$$= \frac{1}{2} x a x t = \frac{1}{2} x 2 m x 0,15 m = 0,15 m^2$$

➤ Perhitungan kecepatan tiap segmen Sungai Purwodadi

Jika dalam mengukur kecepatan aliran digunakan alat pelampung maka dalam perhitungan kecepatan aliran rata-rata tiap segmen perlu mengalikannya dengan koefisien kecepatan yang merupakan hasil dari perbandingan antara pengukuran kecepatan aliran dengan menggunakan alat ukur dan menggunakan pelampung yang dinyatakan dengan nilai k (berkisar 0,50 - 0,98). Menurut panduan pengukuran dan perkiraan debit air sungai nilai koefisien kecepatan ditetapkan 0,95.

Kecepatan pada segmen 1

$$v = k x \frac{L}{t} = 0,95 x \frac{1 m}{12 detik} = 0,079 m/detik$$

Kecepatan pada segmen 2

$$v = k x \frac{L}{t} = 0,95 x \frac{1 m}{12 detik} = 0,079 m/detik$$

Kecepatan pada segmen 3

$$v = k x \frac{L}{t} = 0,95 x \frac{1 m}{23 detik} = 0,041 m/detik$$

Kecepatan pada segmen 4

$$v = k x \frac{L}{t} = 0,95 x \frac{1 m}{23 detik} = 0,041 m/detik$$

➤ Perhitungan debit tiap segmen Sungai Purwodadi

Debit pada segmen 1

$$Q_1 = A x v = 0,46 m^2 x 0,079 m/detik = 0,04 m^3/detik$$

Debit pada segmen 2

$$Q_2 = A \times v = 0,94 \text{ m}^2 \times 0,079 \text{ m/detik} = 0,07 \text{ m}^3/\text{detik}$$

Debit pada segmen 3

$$Q_3 = A \times v = 0,63 \text{ m}^2 \times 0,041 \text{ m/detik} = 0,03 \text{ m}^3/\text{detik}$$

Debit pada segmen 4

$$Q_4 = A \times v = 0,15 \text{ m}^2 \times 0,041 \text{ m/detik} = 0,01 \text{ m}^3/\text{detik}$$

➤ Perhitungan total debit Sungai Purwodadi

Total debit Sungai Purwodadi

$$= Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4$$

$$= 0,04 + 0,07 + 0,03 + 0,01$$

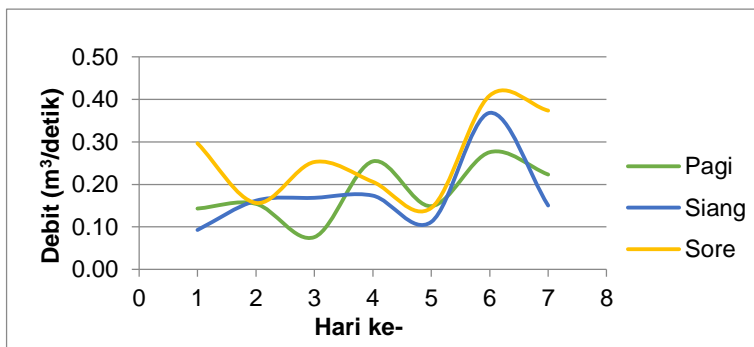
$$= 0,14 \text{ m}^3/\text{detik}$$

Hasil pengukuran debit air Sungai Purwodadi dapat dilihat pada tabel 4.1. Debit air Sungai Purwodadi terlihat pada gambar 4.2 berfluktuasi setiap hari dan juga pada saat pagi, siang, dan sore harinya. Debit yang besar pada Sungai Purwodadi terjadi pada saat sore hari jika dibandingkan debit pada pagi dan siang hari, hal ini terlihat pada gambar 4.2. Hal ini dapat dipengaruhi oleh pemakaian air bersih dari aktivitas masyarakat yang berada pada *catchment* area Sungai Purwodadi, selain itu fluktuasi nilai debit dipengaruhi juga oleh adanya sampah yang menumpuk pada penampang sungai sehingga menghambat kecepatan aliran air. Kenaikan debit air yang signifikan pada hari ke 5, 6, dan 7 disebabkan karena pada 3 hari tersebut terjadi hujan. Terjadinya hujan dapat menyebabkan penambahan volume pada Sungai Purwodadi sehingga terjadi kenaikan debit yang masuk ke dalam Boezem Morokrembangan bagian selatan. Dari hasil perhitungan diperoleh nilai rata-rata debit Sungai Purwodadi adalah 0,21 m³/detik.

Tabel 4. 1 Hasil Perhitungan Debit Air Sungai Purwodadi

Hari ke-	Debit Sungai Purwodadi (m ³ /detik)		
	Pagi	Siang	Sore
1	0,14	0,09	0,30
2	0,15	0,16	0,16
3	0,08	0,17	0,25
4	0,25	0,17	0,21

Hari ke-	Debit Sungai Purwodadi (m ³ /detik)		
	Pagi	Siang	Sore
5	0,15	0,11	0,14
6	0,28	0,37	0,41
7	0,22	0,15	0,37
Rata-Rata/ waktu	0,18	0,18	0,26
Rata-Rata	0,21		
Standar Deviasi	0,07	0,09	0,10



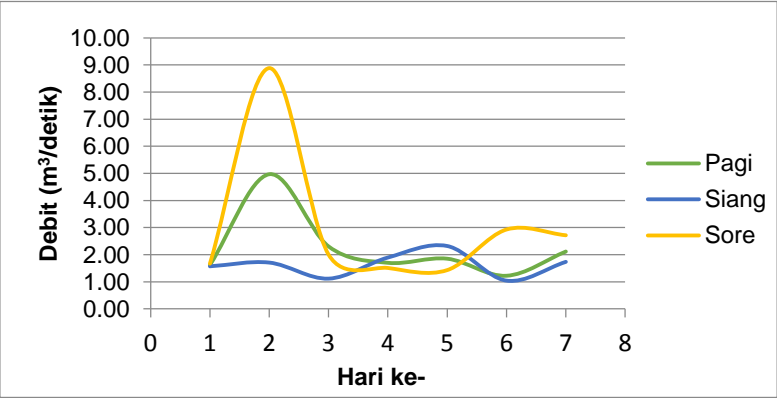
Gambar 4. 2 Fluktuasi Debit Sungai Purwodadi

Melalui hasil pengukuran, dapat dilihat pada tabel 4.2 debit Sungai Greges lebih besar dari pada debit Sungai Purwodadi. Hal ini dikarenakan Sungai Greges memiliki *catchment area* yang lebih luas jika dibandingkan dengan Sungai Purwodadi, sehingga air yang masuk ke dalam Boezem Morokrembangan bagian selatan juga semakin besar. Sungai Greges mempunyai lebar yang lebih besar jika dibandingkan dengan Sungai Purwodadi yaitu sebesar 33 m sedangkan lebar Sungai Purwodadi sebesar 7,5 m, sehingga volume tampungan air akan lebih besar. Pada gambar 4.3 dapat dilihat fluktuasi debit pada Sungai Greges. Pada hari ke-2 terjadi kenaikan debit yang sangat signifikan, hal ini berdasarkan pengamatan di lapangan bahwa adanya pintu air greges yang dibuka sehingga menyebabkan debit air yang masuk ke Boezem Morokrembangan bagian selatan dari Sungai Greges

menjadi lebih besar. Kemudian pada hari ke 5, 6, dan 7 terjadi kenaikan debit air pada saat sore hari dikarenakan terjadinya hujan yang dapat menaikkan debit air yang masuk ke Boezem Morokrengan bagian selatan dari Sungai Greges. Dari hasil perhitungan diperoleh nilai rata-rata debit Sungai Greges adalah 2,30 m³/detik.

Tabel 4. 2 Hasil Perhitungan Debit Air Sungai Greges

Hari ke-	Debit Sungai Greges (m ³ /detik)		
	Pagi	Siang	Sore
1	1,62	1,57	1,67
2	4,97	1,71	8,88
3	2,31	1,12	2,00
4	1,70	1,89	1,51
5	1,85	2,32	1,43
6	1,22	1,04	2,93
7	2,12	1,73	2,72
Rata-Rata/ waktu	2,25	1,63	3,02
Rata-Rata	2,30		
Standar Deviasi	1,25	0,44	2,65



Gambar 4. 3 Fluktuasi Debit Sungai Greges

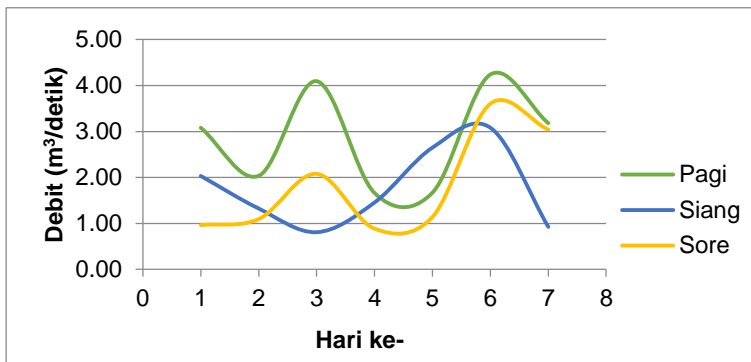
Hasil Pengukuran debit yang keluar pada Outlet Boezem Morokrempangan bagian selatan dapat dilihat pada tabel 4.3. Dapat dilihat pada gambar 4.4 bahwa debit yang keluar pada Boezem Morokrempangan bagian selatan relatif berfluktuatif. Terjadi kenaikan debit outlet Boezem pada hari ke- 3, 5, 6, dan 7. Pada hari ke-3 naiknya debit diakarenakan dibukanya pintu air Gadukan, sehingga debit yang keluar dari Boezem menjadi lebih besar. Sementara pada hari ke 5, 6, dan 7 terjadi hujan dan dibukanya pintu air gadukan sehingga dapat mempengaruhi debit air yang keluar dari Boezem Morokrempangan bagian selatan karena volume air dalam Boezem mengalami kenaikan akibat hujan. Dari hasil perhitungan diperoleh nilai rata-rata debit outlet Boezem Morokrempangan bagian selatan adalah 2,14 m³/detik.

Data pengukuran debit menunjukkan debit Boezem Morokrempangan baik pada inlet maupun outlet Boezem sangat berfluktuasi, hal ini dikarenakan banyak faktor yang dapat mempengaruhi. Berdasarkan pengamatan di lapangan fluktuasinya debit dipengaruhi oleh adanya pintu air dan pompa yang beroperasi pada Boezem Morokrempangan. Pintu air berada pada inlet Boezem Morokrempangan yaitu pada pintu air Greges serta pada outlet yaitu pada pintu air Gadukan. Jika pintu air dibuka maka menyebabkan kenaikan debit air yang masuk ke Boezem Morokrempangan berasal dari Sungai Greges. Jika pintu air Gadukan dibuka maka menyebabkan kenaikan debit air yang keluar Boezem Morokrempangan bagian selatan menuju Boezem Morokrempangan bagian utara. Pompa yang beroperasi pada kedua rumah pompa ini juga mempengaruhi debit, jika pompa dioperasikan maka dapat menambah debit sehingga debit yang masuk maupun yang keluar pada Boezem Morokrempangan bagian selatan menjadi lebih besar.

Tabel 4. 3 Hasil Perhitungan Debit Air Outlet Boezem Morokrempangan

Hari ke-	Debit Outlet (m ³ /detik)		
	Pagi	Siang	Sore
1	3,08	2,03	0,96
2	2,04	1,32	1,09

3	4,09	0,81	2,08
4	1,66	1,46	0,88
5	1,67	2,65	1,14
6	4,24	3,08	3,60
7	3,18	0,93	3,04
Rata-Rata/ waktu	2,85	1,75	1,83
Rata-Rata		2,14	
Standar Deviasi	1,09	0,87	1,11



Gambar 4. 4 Fluktuasi Debit Outlet Boezem Morokrembangan

4.2 Konsentrasi Bahan Pencemar pada Boezem Morokrembangan bagian Selatan

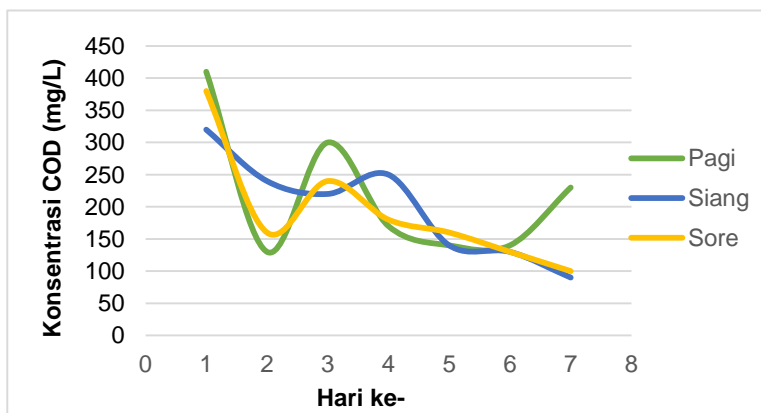
Pada sub bab ini akan dibahas mengenai analisis terhadap parameter kualitas air yang meliputi COD, BOD, MLSS, dan MLVSS.

4.2.1 Chemical Oxygen Demand (COD)

Analisis COD dilakukan untuk mengetahui besarnya bahan pencemar organik yang dapat terbiodegradasi maupun yang tidak dapat terbiodegradasi pada air yang masuk dan keluar Boezem Morokrembangan. Analisis dilakukan pada inlet Boezem yaitu pada Sungai Purwodadi dan Sungai Greges, serta pada outlet Boezem Morokrembangan bagian selatan. Pengambilan sampel dilakukan selama 7 hari berturut-turut pada waktu pagi

(antara pukul 07.00-09.00 WIB), siang (antara pukul 11.00-13.00 WIB), dan sore (antara pukul 14.00-16.00 WIB) untuk mengetahui fluktuasi beban pencemar yang masuk dan keluar Boezem Morokrembangan.

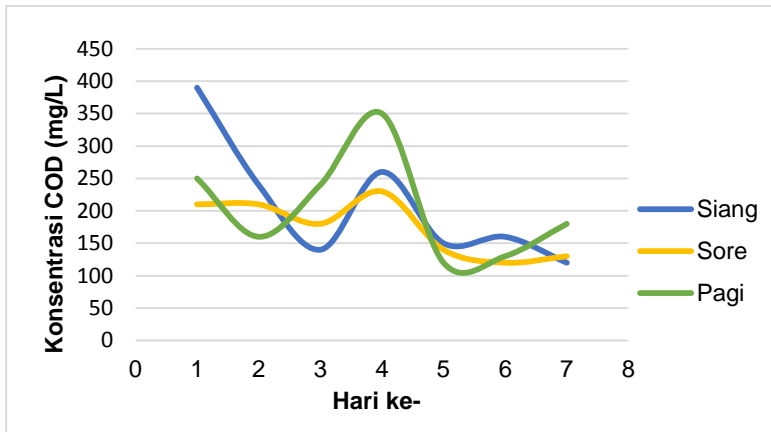
Data analisis menunjukkan bahwa konsentrasi COD Sungai Purwodadi berkisar antara 90 mg/L hingga 410 mg/L. Dapat dilihat pada gambar 4.5 bahwa konsentrasi nilai COD pada Sungai Purwodadi relatif berfluktuatif setiap harinya. Namun dapat dilihat pada gambar 4.5 bahwa tidak terdapat fluktuasi yang besar untuk nilai COD pada saat pagi, siang, dan sore hari. Hal ini dapat diartikan bahwa bahan pencemar yang masuk ke dalam Sungai Purwodadi relatif sama pada pagi, siang, dan sore harinya. Konsentrasi COD tertinggi terlihat pada hari ke-1 yaitu mencapai angka 410 mg/L, hal ini dapat terjadi karena berdasarkan pengamatan di lapangan, daerah sepanjang Sungai Purwodadi terdapat pemukiman penduduk yang aliran air limbah *blackwater*nya dari tiap rumah langsung ke sungai. Beban organik dari *blackwater* ini yang menyebabkan tingginya nilai COD pada Sungai Purwodadi. Dari hasil perhitungan diperoleh nilai rata-rata konsentrasi COD Sungai Purwodadi adalah 202,9 mg/L.



Gambar 4. 5 Fluktuasi Konsentrasi COD Air Sungai Purwodadi

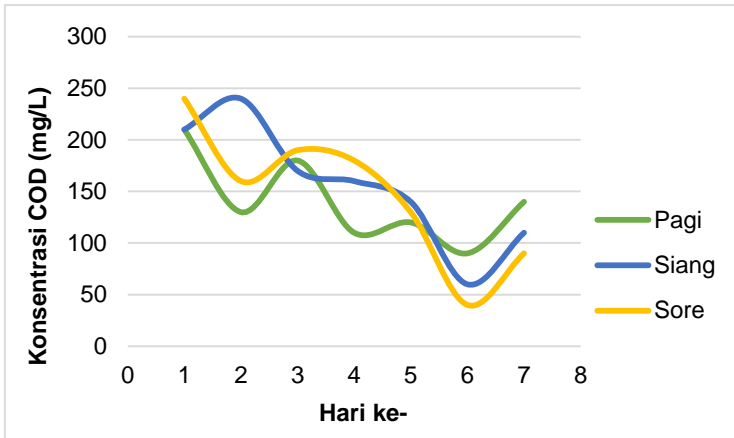
Nilai konsentrasi COD pada Sungai Greges berkisar antara 120 mg/L hingga 390 mg/L. Pada gambar 4.6 dapat dilihat fluktuasi nilai konsentrasi COD pada Sungai Greges setiap harinya

yang besar, namun pada waktu pagi, siang, dan sore dapat dilihat tidak terdapat perbedaan yang signifikan. Hal ini berarti bahwa setiap harinya konsentrasi COD Sungai Greges relatif sama pada saat pagi, siang, dan sore harinya. Dari hasil perhitungan diperoleh nilai rata-rata konsentrasi COD Sungai Greges adalah 195,7 mg/L.



Gambar 4. 6 Fluktuasi Konsentrasi COD Air Sungai Greges

Data analisis menunjukkan bahwa konsentrasi COD pada outlet berkisar antara 40 mg/L hingga 240 mg/L. Hasil ini lebih kecil dari nilai konsentrasi COD pada kedua inlet Boezem Morokrempangan bagian selatan yaitu pada Sungai Purwodadi dan Sungai Greges. Hal ini menandakan bahwa dalam Boezem Morokrempangan terjadi proses biodegradasi yang menyebabkan turunnya nilai konsentrasi COD. Pada gambar 4.7 terlihat bahwa konsentrasi nilai COD pada outlet Boezem setiap harinya relatif berfluktuatif, namun semakin hari nilai COD semakin menurun hal ini menandakan bahwa proses biodegradasi dalam Boezem berjalan dengan baik. Dari hasil perhitungan diperoleh nilai rata-rata konsentrasi COD outlet Boezem Morokrempangan bagian selatan adalah 147,6 mg/L. Besarnya nilai konsentrasi COD pada outlet Boezem Morokrempangan diduga banyak dipengaruhi oleh kandungan bahan organik yang berasal dari Sungai Greges. Hal ini diketahui dari debit air input dari Sungai Greges yang besar.



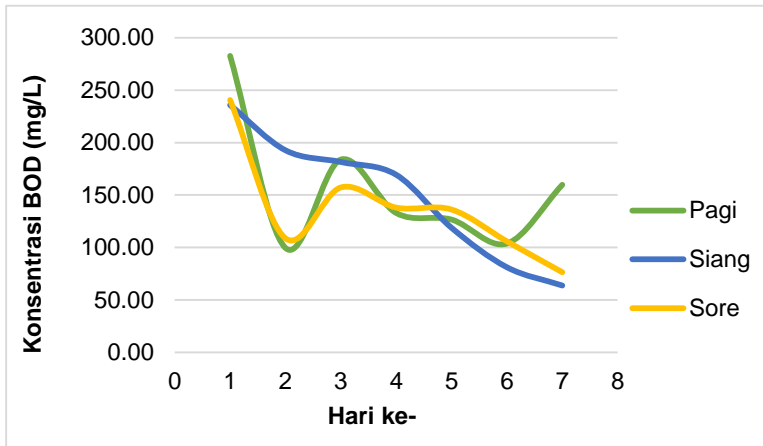
Gambar 4. 7 Fluktuasi Konsentrasi COD Air Outlet Boezem Morokrembangan

4.2.2 Biochemical Oxygen Demand (BOD)

Analisis BOD dilakukan untuk mengetahui besarnya bahan pencemar organik yang dapat terbiodegradasi pada air yang masuk dan keluar Boezem Morokrembangan bagian selatan. Analisis dilakukan pada inlet Boezem yaitu pada Sungai Purwodadi dan Sungai Greges, serta pada outlet Boezem Morokrembangan. Pengambilan sampel dilakukan selama 7 hari berturut-turut pada waktu pagi (antara pukul 07.00-09.00 WIB), siang (antara pukul 11.00-13.00 WIB), dan sore (antara pukul 15.00-17.00 WIB) untuk mengetahui fluktuasi beban pencemar yang masuk dan keluar Boezem Morokrembangan.

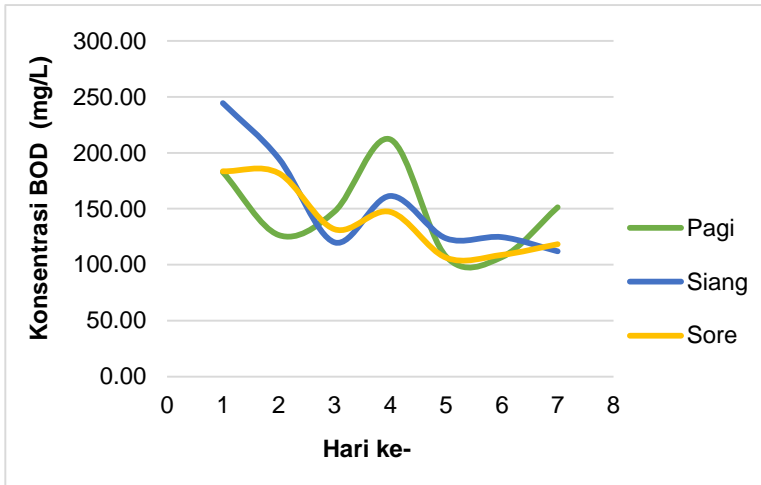
Data analisis menunjukkan bahwa konsentrasi BOD yang masuk melalui Sungai Purwodadi berkisar antara 76,47 mg/L hingga 252,95 mg/L. Terlihat pada gambar 4.8 terdapat fluktuasi konsentrasi BOD setiap harinya, namun pada konsentrasi BOD pada waktu pagi, siang, dan sore hari tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan, kecuali pada hari ke-2 saat siang hari, terjadi kenaikan nilai konsentrasi BOD menjadi 192,66 mg/L, dari yang mulanya pada pagi hari 99,62 mg/L dan pada saat sore hari menurun menjadi 108,79 mg/L. Hal ini dimungkinkan terjadi karena beban organik yang masuk ke dalam Sungai Purwodadi yang juga

berfluktuasi. Sama seperti halnya dengan nilai COD yang dipengaruhi oleh aktivitas pembuangan *blackwater* pada badan air Sungai Purwodadi. Dari hasil perhitungan diperoleh nilai rata-rata konsentrasi BOD Sungai Purwodadi adalah 147,4 mg/L.



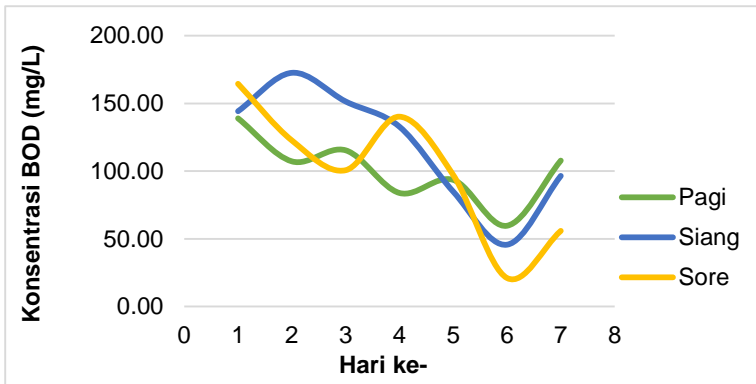
Gambar 4. 8 Fluktuasi Konsentrasi BOD Air Sungai Purwodadi

Pada Sungai Greges konsentrasi nilai BOD berkisar antara 106,76 mg/L hingga 244,47 mg/L. Dari gambar 4.9 dapat dilihat bahwa konsentrasi BOD pada Sungai Greges mengalami fluktuasi setiap harinya, hal ini dipengaruhi oleh besarnya bahan pencemar yang masuk ke dalam sungai yang berbeda-beda pula setiap harinya. Diketahui bahwa disepanjang Sungai Greges terdapat permukiman penduduk yang langsung membuang air limbah rumah tangganya ke dalam sungai. Sehingga dari aktivitas pemakaian air bersih masyarakat ini dapat mempengaruhi besar kecilnya bahan pencemar yang masuk ke dalam sungai. Namun sama seperti halnya pada Sungai Purwodadi, bahwa pada saat pagi, siang, dan sore hari konsentrasi BOD tidak menunjukkan fluktuasi yang besar. Sehingga dapat disimpulkan bahwa fluktuasi yang besar pada konsentrasi BOD Sungai Greges terjadi pada setiap harinya. Dari hasil perhitungan diperoleh nilai rata-rata konsentrasi BOD Sungai Purwodadi adalah 147,3 mg/L.



Gambar 4. 9 Fluktuasi Konsentrasi BOD Air Sungai Greges

Pada outlet Boezem Morokrembangan bagian selatan hasil analisis konsentrasi BOD berkisar antara 21,03 mg/L hingga 172,57 mg/L. Tingi rendahnya beban organik pada outlet Boezem ini bergantung pada proses biodegradasi yang terjadi pada Boezem Morokrembangan bagian selatan. Pada analisis nilai BOD hari ke- 5, 6, 7 terjadi penurunan nilai BOD jika dibandingkan dengan hari-hari sebelumnya. Hal ini dikarenakan pada hari ke- 5, 6, 7 terjadi hujan sehingga terjadi faktor pengenceran pada air di dalam Boezem yang menyebabkan menurunnya nilai BOD pada outlet Boezem. Sementara itu pada saat pagi, siang, dan sore hari pada hari ke- 1, 2, 3, dan 4 terjadi fluktuasi yang besar pada nilai konsentrasi BOD saat pagi hari. Pada saat pagi hari memiliki nilai konsentrasi BOD yang lebih tinggi dari pada siang hari dan sore hari. Fluktuasi ini dipengaruhi oleh aliran air limbah yang masuk pada Boezem Morokrembangan bagian selatan utamanya dari Sungai Greges yang mempunyai debit yang besar. Dari hasil perhitungan diperoleh nilai rata-rata konsentrasi BOD Sungai Purwodadi adalah 106,5 mg/L.



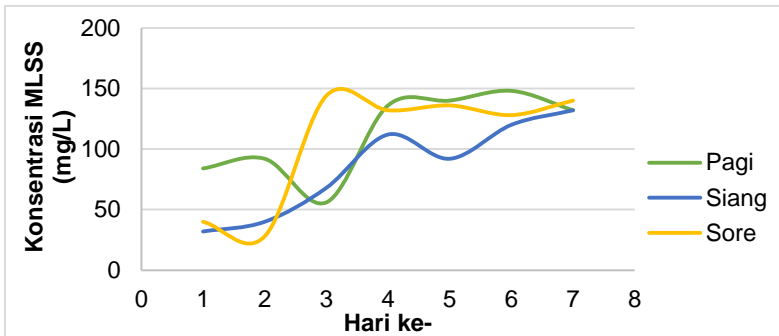
Gambar 4. 10 Fluktuasi Konsentrasi BOD Air Outlet Boezem Morokrembangan bagian Selatan

4.2.3 *Mixed Liquor Suspended Solid (MLSS)*

Analisis *Mixed Liquor Suspended Solid* (MLSS) dilakukan untuk mengetahui besarnya bahan padatan tersuspensi pada air yang masuk dan keluar Boezem Morokrembangan. Analisis dilakukan pada inlet Boezem yaitu pada Sungai Purwodadi dan Sungai Greges, serta pada outlet Boezem Morokrembangan. Pengambilan sampel dilakukan selama 7 hari berturut-turut pada waktu pagi (antara pukul 07.00-09.00 WIB), siang (antara pukul 11.00-13.00 WIB), dan sore (antara pukul 14.00-16.00 WIB) untuk mengetahui fluktuasi bahan pencemar yang masuk dan keluar Boezem Morokrembangan.

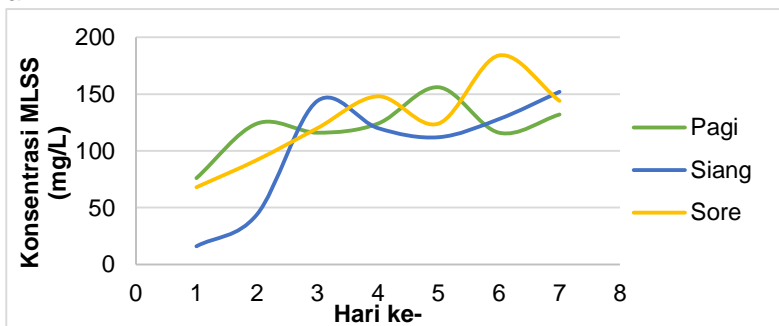
Hasil analisis menunjukkan nilai MLSS pada Sungai Purwodadi berfluktuatif setiap harinya. Fluktuasi nilai MLSS pada Sungai Purwodadi dapat dilihat pada gambar 4.11. Nilai MLSS Sungai Purwodadi antara berkisar 28 mg/L hingga 148 mg/L. Fluktuasi nilai MLSS dalam Sungai Purwodadi ini terjadi setiap hari, jika dilihat pada gambar 4.11 pada saat waktu pagi, siang, dan sore terdapat fluktuasi nilai MLSS yang relatif besar, hal ini dipengaruhi oleh air limbah yang masuk ke dalam sungai dan juga padatan yang terbawa oleh aliran air sungai. Dapat dilihat bahwa menuju hari ke- 5, 6, 7 nilai MLSS Sungai Purwodadi semakin naik hal ini disebabkan karena terjadinya hujan pada hari tersebut dapat menyebabkan penggerusan material pada badan air sehingga

memperbesar nilai MLSS. Hasil perhitungan menunjukkan nilai rata-rata MLSS Sungai Purwodadi adalah 101,5 mg/L



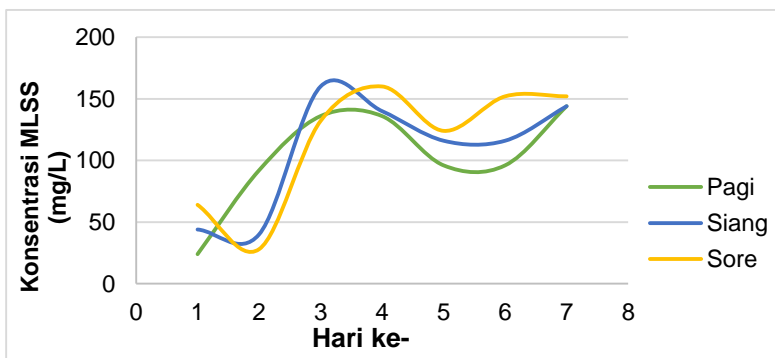
Gambar 4. 11 Fluktuasi Konsentrasi MLSS Air Sungai Purwodadi

Sama halnya dengan nilai MLSS pada Sungai Purwodadi, nilai MLSS pada Sungai Greges juga berfluktuasi setiap harinya. Fluktuasi nilai MLSS pada Sungai Greges dapat dilihat pada gambar 4.12. Nilai MLSS Sungai Greges berkisar antara 16 mg/L hingga 184 mg/L, dan berdasarkan perhitungan rata-rata nilai MLSS Sungai Greges adalah 116,2 mg/L. Pada Gambar 4.12 terlihat nilai MLSS Sungai Greges yang berfluktuasi baik saat pagi, siang, dan sore setiap harinya. Terjadinya hujan pada hari ke 5, 6, dan 7 juga mempengaruhi nilai MLSS pada Sungai Greges, yang ditunjukkan oleh kenaikan nilai MLSS pada air.



Gambar 4. 12 Fluktuasi Konsentrasi MLSS Air Sungai Greges

Pada outlet Boezem Morokrengan bagian selatan nilai MLSS berkisar antara 24 mg/L dan 160 mg/L. Tingginya konsentrasi MLSS ini disebabkan adanya alga yang tumbuh pada daerah sekitar outlet Boezem. Dari hasil perhitungan didapatkan nilai rata-rata MLSS pada outlet Boezem Morokrengan bagian selatan adalah 109,3 mg/L. Dapat dilihat pada gambar 4.13 terjadi fluktuasi nilai MLSS pada outlet Boezem Morokrengan bagian selatan. Fluktuasi ini dipengaruhi konsentrasi biomassa alga yang tumbuh dan zat tersuspensi lain yang terdapat pada air Boezem.



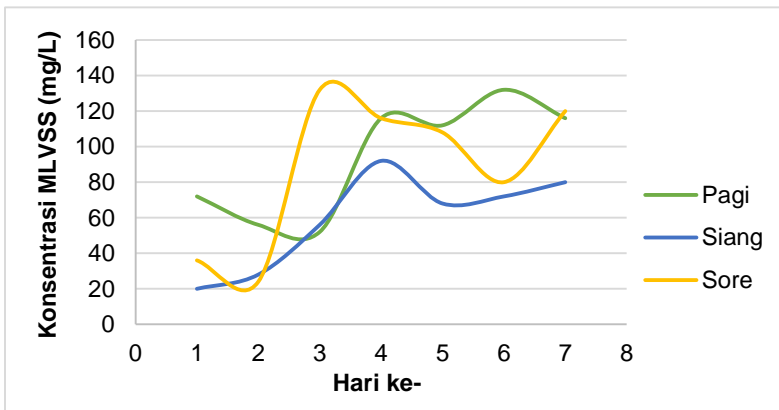
Gambar 4. 13 Fluktuasi Konsentrasi MLSS Air Outlet Boezem Morokrengan

4.2.4 *Mixed Liquor Volatile Suspended Solid (MLVSS)*

Analisis *Mixed Liquor Volatile Suspended Solid (MLVSS)* dilakukan untuk mengetahui besarnya bahan padatan volatil tersuspensi pada air yang masuk dan keluar Boezem Morokrengan. Analisis dilakukan pada inlet Boezem yaitu pada Sungai Purwodadi dan Sungai Greges, serta pada outlet Boezem Morokrengan. Pengambilan sampel dilakukan selama 7 hari berturut-turut pada waktu pagi (antara pukul 07.00 - 09.00 WIB), siang (antara pukul 11.00 - 13.00 WIB), dan sore (antara pukul 14.00-16.00 WIB) untuk mengetahui fluktuasi bahan pencemar yang masuk dan keluar Boezem Morokrengan.

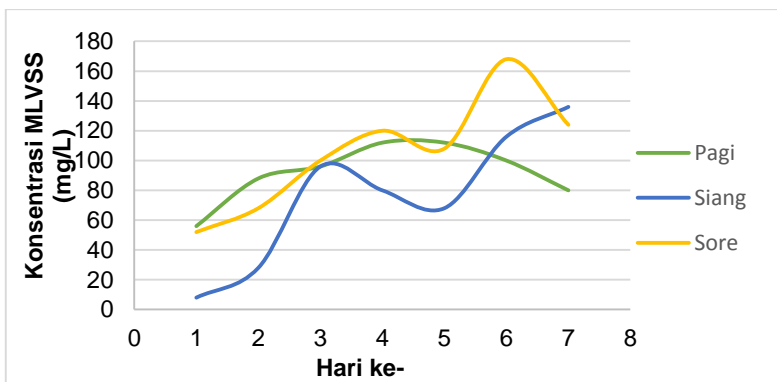
Nilai MLVSS pada Sungai Purwodadi berfluktuatif setiap harinya. Dapat dilihat pada gambar 4.14 bahwa terdapat fluktuasi yang besar pada nilai MLVSS Sungai Purwodadi. Nilai MLSS

Sungai Purwodadi antara berkisar 20 mg/L hingga 132 mg/L. Fluktuasi nilai MLVSS dalam Sungai Purwodadi ini terjadi setiap hari pada saat waktu pagi, siang, dan sore. Sama halnya dengan MLSS hal ini dapat dipengaruhi oleh air limbah yang masuk ke dalam sungai dan juga padatan yang terbawa oleh aliran air sungai. Hasil perhitungan menunjukkan nilai rata-rata MLSS Sungai Purwodadi adalah 80,4 mg/L.



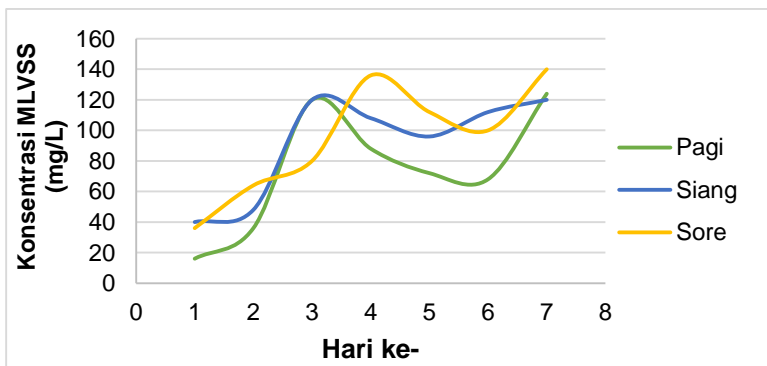
Gambar 4. 14 Fluktuasi Konsentrasi MLVSS Air Sungai Purwodadi

Dari hasil analisis didapatkan nilai MLVSS pada Sungai Greges berfluktuasi setiap harinya. Fluktuasi nilai MLVSS pada Sungai Greges dapat dilihat pada gambar 4.15. Nilai MLVSS Sungai Greges berkisar antara 8 mg/L hingga 168 mg/L, dan berdasarkan perhitungan rata-rata nilai MLVSS Sungai Greges adalah 91,2 mg/L. Pada Gambar 4.15 terlihat nilai MLVSS Sungai Greges yang berfluktuasi baik saat pagi, siang, dan sore setiap harinya. Sama halnya dengan fluktuasi nilai MLSS pada Sungai Greges, fluktuasi nilai MLVSS pada Sungai Greges bergantung pada keadaan air sungai yang mengandung bahan organik baik yang tersuspensi maupun yang terlarut. Termasuk faktor yang berpengaruh pada fluktuasi nilai MLVSS adalah terjadinya hujan. Hujan yang jatuh pada hari ke- 5, 6, dan 7 menyebabkan kenaikan nilai MLVSS pada air Sungai Greges.



Gambar 4. 15 Fluktuasi Konsentrasi MLVSS Air Sungai Greges

Pada outlet Boezem Morokrengan bagian selatan nilai MLVSS berkisar antara 16 mg/L dan 140 mg/L. Sama halnya dengan MLSS tingginya konsentrasi MLVSS pada outlet ini disebabkan adanya alga yang tumbuh pada air di daerah sekitar outlet Boezem. Dari hasil perhitungan didapatkan nilai rata-rata MLVSS pada outlet Boezem Morokrengan bagian selatan adalah 87,4 mg/L. Dapat dilihat pada gambar 4.16 terjadi fluktuasi nilai MLVSS pada outlet Boezem Morokrengan bagian selatan. Fluktuasi ini dipengaruhi konsentrasi biomassa alga yang tumbuh dan zat tersuspensi lain yang terdapat pada air Boezem.



Gambar 4. 16 Fluktuasi Konsentrasi MLVSS Air Outlet Boezem Morokrengan

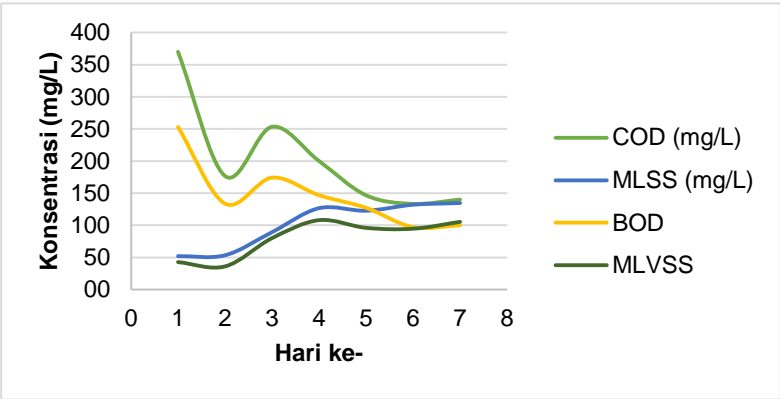
4.3 Korelasi antara Nilai COD, BOD, MLSS, dan MLVSS

Korelasi antara nilai COD, BOD, MLSS, dan MLVSS menunjukkan hubungan biomassa yang ada dalam air untuk dapat mendegradasi material organik. Menurut Said dan Utomo (2007) MLSS jumlah total dari padatan tersuspensi yang berupa material organik dan mineral, termasuk di dalamnya adalah mikroorganisme. Sedangkan MLVSS merupakan material organik yang terkandung dalam air limbah yang terdiri dari material organik bukan mikroba, mikroba hidup dan mati, serta hancuran sel. Menurut Hartati (2012) apabila pada sebuah kolam yang mempunyai konsentrasi COD menurun dan mempunyai konsentrasi MLSS naik maka mengindikasikan bahwa terjadi proses degradasi yang baik di dalam kolam tersebut.

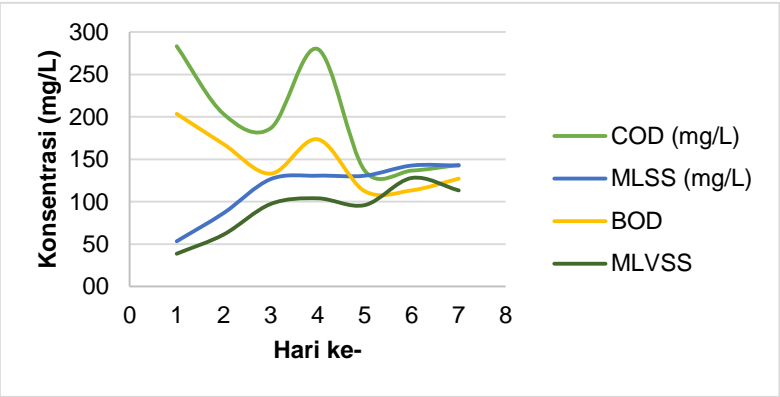
Gambar 4.17, hingga 4.19 menunjukkan hubungan antara nilai COD, BOD, MLSS, dan MLVSS yang terkandung dalam air pada Sungai Purwodadi, Sungai Greges, dan outlet Boezem Morokreng bagian selatan. Hubungan antara nilai COD, BOD, MLSS, dan MLVSS menunjukkan besarnya substrat yang akan didegradasi. Pada masing-masing gambar diketahui nilai COD, BOD, MLSS, dan MLVSS mengalami perubahan yang fluktuatif setiap harinya. Dapat dilihat pada ketiga gambar bahwa saat nilai konsentrasi COD menurun dan nilai MLSS mengalami kenaikan maka dapat diketahui bahwa terdapat proses degradasi yang baik. Dimana proses biodegradasi yang baik diindikasikan dari banyaknya mikroorganisme yang digambarkan dengan nilai MLSS dan MLVSS. Banyaknya mikroorganisme dalam air limbah maka jumlah substrat yang dimakan juga akan lebih besar, dalam hal ini besarnya substrat pada air limbah digambarkan dengan nilai COD dan BOD. Sehingga terjadi penurunan nilai COD dan BOD sejalan dengan kenaikan nilai MLSS dan MLVSS.

Selain proses biodegradasi, faktor yang berpengaruh terhadap besarnya nilai MLSS dan MLSS adalah proses fisik yang mungkin terjadi. Menurut Supradata (2005) konsentrasi TSS dalam air limbah dipengaruhi oleh proses fisik seperti sedimentasi dan aktivitas mikroorganisme. Pada gambar 4.17 hingga 4.19 dapat dilihat bahwa terjadi perubahan konsentrasi MLSS dan MLVSS mengikuti konsentrasi COD dan BOD pada hari ke 5, 6, dan 7, hal mungkin terjadi karena adanya proses sedimentasi dalam Boezem yang menyebabkan perubahan konsentrasi MLSS dan MLVSS.

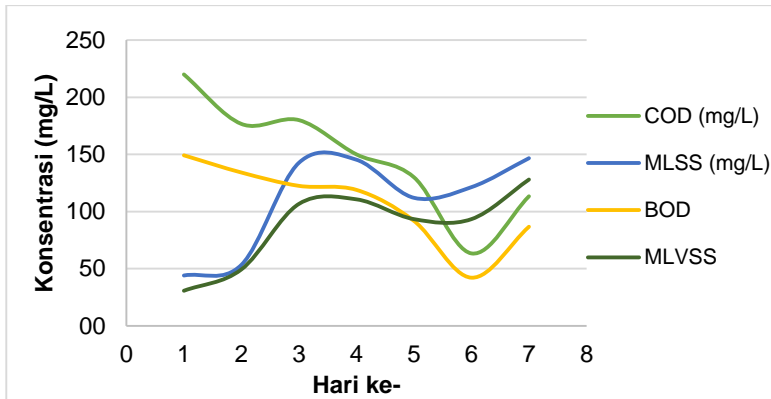
Selain itu pada hari ke 5, 6, dan 7 terjadi hujan sehingga nilai BOD semakin menurun dan nilai MLSS dan MLVSS naik akibat naiknya debit air dan partikel tersuspensi yang ikut terbawa aliran air. Pada awal waktu penelitian nilai MLSS dan MLVSS cenderung rendah, hal ini mungkin terjadi karena adanya *flushing* yang menyebabkan nilai konsentrasi MLSS dan MLVSS menjadi menurun karena material terbawa oleh arus deras saluran.



Gambar 4. 17 Korelasi Nilai COD, BOD, MLSS, dan MLVSS Sungai Purwodadi



Gambar 4. 18 Korelasi Nilai COD, BOD, MLSS, dan MLVSS Sungai Greges



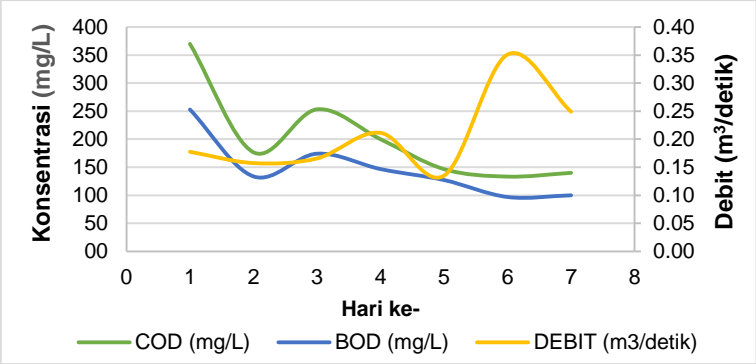
Gambar 4. 19 Korelasi Nilai COD, BOD, MLSS, dan MLVSS Outlet Boezem Morokrembangan

4.4 Korelasi antara Nilai Debit Air, COD, dan BOD Boezem Morokrembangan

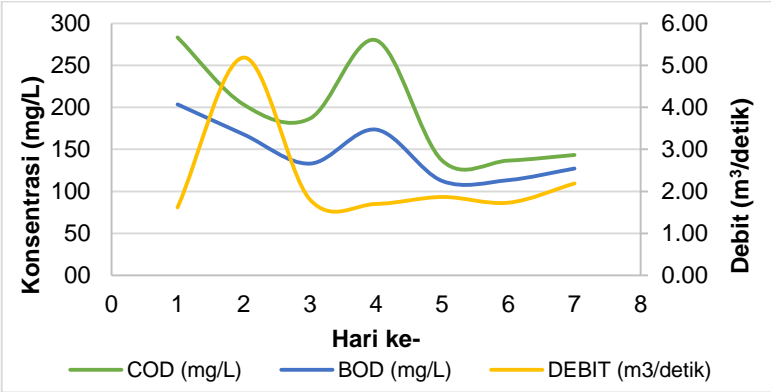
Korelasi antara nilai debit air, COD, dan BOD menunjukkan besarnya beban pencemar yang masuk maupun keluar dalam Boezem Morokrembangan. Pada gambar 4.20 hingga 4.22 menunjukkan hubungan antara nilai debit air, COD, dan BOD pada Sungai Purwodadi, Sungai Greges, dan Outlet Boezem Morokrembangan bagian selatan.

Dapat dilihat pada gambar 4.20 dan 4.22 menunjukkan kecenderungan bahwa pada Sungai Purwodadi dan Outlet Boezem Morokrembangan semakin tinggi debit air maka semakin rendah nilai konsentrasi bahan pencemar yang digambarkan dengan nilai COD dan BOD. Hal ini dapat disebabkan karena adanya pengenceran dalam air sehingga dapat menurunkan konsentrasi bahan organik. Kenaikan debit air yang signifikan pada Sungai Purwodadi dan Outlet Boezem Morokrembangan terjadi pada hari ke 5, 6, 7 hal ini disebabkan terjadinya hujan. Kenaikan debit air tersebut diikuti oleh penurunan nilai konsentrasi bahan pencemar yaitu nilai COD dan BOD pada kedua saluran tersebut karena adanya pengenceran.

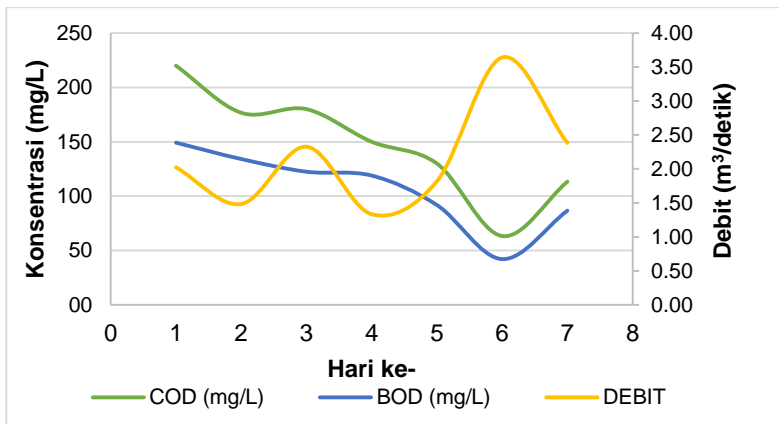
Pada gambar 4.21 kenaikan debit air terjadi pada hari ke-2 pengukuran, hal ini karena dipengaruhi oleh faktor dibukanya pintu air untuk mengalirkan air dari Sungai Greges ke dalam Boezem Morokrengan. Pada saat debit air mengalami kenaikan, terjadi penurunan nilai COD dan BOD pada Sungai Greges namun tidak terlalu signifikan jika dibandingkan dengan kenaikan debit air. Hal ini berarti bahwa pengenceran secara alami oleh debit air yang tinggi tidak mampu menurunkan bahan organik secara signifikan karena konsentrasi bahan organik yang masih tinggi.



Gambar 4. 20 Korelasi Nilai Debit Air, COD, dan BOD Sungai Purwodadi



Gambar 4. 21 Korelasi Nilai Debit Air, COD, dan BOD Sungai Greges



Gambar 4. 22 Korelasi Nilai Debit Air, COD, dan BOD Outlet Boezem Morokrempangan

4.5 Perhitungan Emisi Gas Rumah Kaca pada Boezem Morokrempangan

Boezem Morokrempangan dapat digunakan sebagai reaktor alam untuk mengolah air limbah yang terakumulasi dari berbagai sumber pada *catchment* areanya. Boezem Morokrempangan sebagai kolam stabilisasi yang di dalamnya terdapat proses degradasi baik secara aerobik maupun anaerobik. Menurut Putri (2014) kedalaman Boezem Morokrempangan bagian selatan rata-rata adalah 3 meter. Sedangkan menurut Al-Hashimi dan Hussain (2013) kondisi anaerobik dapat dicapai pada kedalaman kolam 2-5 meter. Proses biodegradasi secara anaerobik terjadi pada zona endapan lumpur. Batas antara zona aerobik dan anaerobik pada Boezem Morokrempangan tidak tetap, hal ini bergantung pada beberapa faktor seperti kemampuan penetrasi cahaya matahari dan nilai *Dissolved Oxygen* (DO) dalam air yang dipengaruhi oleh turbulensi air akibat hempasan angin pada permukaan air. Zona anaerob akan semakin berada pada kedalaman air yang dangkal apabila tingkat kekeruhan air meningkat, hal ini mengakibatkan penetrasi cahaya matahari ke dalam air menjadi terhambat. Selain itu pada saat bersamaan kecepatan angin rendah. Sehingga pengadukan alami tidak dapat terjadi secara optimum pada ekosistem perairan Boezem.

Pengolahan air limbah jika terjadi dalam kondisi anaerobik dapat menghasilkan emisi gas rumah kaca yaitu gas CH_4 dan CO_2 . Pada proses pengolahan air limbah secara anaerobik, banyaknya bahan organik diubah menjadi biomassa atau dikonversikan menjadi CH_4 dan CO_2 . Fraksi biomassa dikonversikan menjadi CH_4 dan CO_2 melalui respirasi endogenous, sementara sumber lain dari emisi gas rumah kaca pada pengolahan air limbah adalah proses digester lumpur (Gupta dan Singh, 2012).

Dengan analisis demikian maka diperkirakan bahwa di dalam Boezem terdapat proses digesting lumpur yang mengendap yang terjadi dalam kondisi anaerobik sehingga menghasilkan emisi CH_4 dan CO_2 . Perhitungan emisi CH_4 dan CO_2 dari proses digesting lumpur dalam Boezem Morokrempangan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2.4 dan 2.5. Pada fase liquid dipertimbangkan pada perhitungan emisi gas rumah kaca pada Boezem Morokrempangan, karena fase liquid juga ada dalam kondisi anaerobik sehingga proses degradasi zat organik menimbulkan emisi gas rumah kaca. Perhitungan emisi gas rumah kaca pada fase liquid menggunakan persamaan 2.1 dan 2.2.

Perhitungan emisi gas rumah kaca pada Boezem Morokrempangan menggunakan parameter BOD. Menurut IPCC (2006) pada limbah cair domestik, karakteristik yang menentukan besarnya gas CH_4 yang terbentuk selama proses degradasi komponen organik/karbon yang terdapat pada limbah adalah angka BOD. Sebelum menghitung emisi gas rumah kaca, maka terlebih dahulu dihitung efisiensi removal BOD pada Boezem Morokrempangan bagian selatan untuk mengetahui besarnya gas yang diemisikan dari bahan organik yang teremoval.

Sebelum menghitung emisi gas rumah kaca, maka dilakukan perhitungan total konsentrasi bahan pencemar yang masuk pada Boezem Morokrempangan bagian selatan (C_0) dari Sungai Purwodadi dan Sungai Greges. Perhitungan ini digunakan untuk mengetahui besar beban organik dari air limbah yang masuk ke dalam Boezem Morokrempangan bagian selatan yang akan mengalami proses biodegradasi dan menghasilkan gas rumah kaca. Dengan demikian perhitungan total konsentrasi bahan pencemar yang masuk pada Boezem Morokrempangan bagian selatan dapat dihitung melalui perhitungan berikut ini:

- Rata-rata debit Sungai Purwodadi (Q_1) = $0,21 \text{ m}^3/\text{detik} = 210 \text{ L/detik}$
 - Rata-rata debit Sungai Greges (Q_2) = $2,30 \text{ m}^3/\text{detik} = 2300 \text{ L/detik}$
 - Rata-rata konsentrasi BOD Sungai Purwodadi (C_1) = $147,4 \text{ mg/L}$
 - Rata-rata konsentrasi BOD Sungai Greges (C_2) = $147,3 \text{ mg/L}$
- Total konsentrasi bahan pencemar (C_o)

$$C_o = \frac{Q_1 \cdot C_1 + Q_2 \cdot C_2}{Q_1 + Q_2}$$

$$= \frac{210 \text{ L/detik} \times 147,4 \text{ mg/L} + 2300 \text{ L/detik} \times 147,3 \text{ mg/L}}{210 \text{ L/detik} + 2300 \text{ L/detik}}$$

$$= 147,3 \text{ mg/L}$$

Setelah didapatkan total konsentrasi bahan pencemar yang masuk ke dalam Boezem Morokrempangan bagian selatan maka dilakukan perhitungan efisiensi removal BOD pada Boezem Morokrempangan bagian selatan. Jika rata-rata konsentrasi BOD Outlet Boezem Morokrempangan (C_e) = $106,5 \text{ mg/L}$, maka presentase removal BOD dalam Boezem Morokrempangan bagian selatan adalah

$$\%R = \frac{C_o - C_e}{C_o} \times 100$$

$$= \frac{147,3 \text{ mg/L} - 106,5 \text{ mg/L}}{147,3 \text{ mg/L}} \times 100$$

$$= 27,7$$

Diketahui bahwa proses biodegradasi bahan organik yang terjadi di dalam Boezem Morokrempangan mampu menurunkan konsentrasi bahan organik tersebut sebesar 27,7%. Kemampuan Boezem dalam menurunkan konsentrasi bahan pencemar relatif rendah. Menurut Hartati (2012) rendahnya kemampuan Boezem dalam menurunkan konsentrasi bahan pencemar dipengaruhi oleh beberapa faktor salah satunya adalah adanya pendangkalan yang menyebabkan waktu tinggal hidraulik air di dalam Boezem menurun. Selain itu terjadinya penumpukan lumpur dan sampah pada daerah-daerah tertentu seperti inlet Boezem dapat menyebabkan kondisi *septic* dan meningkatkan kandungan zat padat pada zona stabilisasi. Untuk meningkatkan kinerja Boezem dapat dilakukan dengan pengerukan lumpur

secara berkala dan pembersihan sampah pada titik-titik tertentu agar tidak mengganggu proses stabilisasi yang terdapat pada Boezem.

Selanjutnya dilakukan perhitungan emisi gas rumah kaca pada proses digesting lumpur dan fase liquid air limbah yang masuk pada Boezem Morokrembangan. Sebelum dilakukan perhitungan emisi gas rumah kaca, maka terlebih dahulu dilakukan perhitungan debit lumpur yang masuk ke dalam Boezem Morokrembangan menggunakan lumpur MLSS dan nilai yield (λ) biomassa. MLSS menunjukkan konsentrasi padatan berupa padatan organik dan mikroorganisme yang terkandung di dalam reaktor (Sari, et. al, 2013). Menurut Metcalf dan Eddy (2014) nilai yield (λ) biomassa merupakan rasio antara jumlah biomassa yang dihasilkan dan jumlah substrat yang digunakan dalam pengolahan secara biologis (gram biomassa/gram substrat).

Perhitungan debit lumpur yang masuk (Q_s) pada Boezem Morokrembangan bagian selatan jika diketahui

- Rata-rata [MLSS] Sungai Purwodadi (C_1) = 101,50 mg/L
- Rata-rata [MLSS] Sungai Greges (C_2) = 116,20 mg/L
- Rata-rata debit Sungai Purwodadi (Q_1) = 0,21 m³/detik = 210 L/detik
- Rata-rata debit Sungai Greges (Q_2) = 2,30 m³/detik = 2300 L/detik

Maka debit lumpur dapat dihitung dengan menghitung massa lumpur yang masuk ke dalam Boezem Morokrembangan bagian selatan melalui perhitungan berikut ini

$$\begin{aligned} \text{Massa lumpur} &= (C_1 \times Q_1) + (C_2 \times Q_2) \\ &= \left(101,50 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times 210 \frac{\text{L}}{\text{detik}}\right) + \left(116,20 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times 2300 \frac{\text{L}}{\text{detik}}\right) \\ &= 288575 \text{ mg/detik} \\ &= 0,289 \text{ kg/detik} \end{aligned}$$

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Satwika (2012) densitas lumpur tersuspensi adalah 990 kg/m³, sehingga dapat dihitung debit lumpur yang masuk (Q_s) pada Boezem Morokrembangan bagian selatan.

$$Q_s = \frac{\text{beban lumpur}}{\text{densitas lumpur}} = \frac{0,289 \frac{\text{kg}}{\text{detik}} \times 3600 \frac{\text{detik}}{\text{jam}}}{990 \text{ kg/m}^3} = 1,05 \text{ m}^3/\text{jam}$$

Setelah mengetahui debit lumpur, maka dapat dihitung nilai yield (λ) biomassa dengan formulasi perhitungan berikut ini jika telah diketahui

- Debit air limbah yang masuk ke dalam Boezem Morokrembangan (Q_{ww})

$$\begin{aligned} Q_{ww} &= Q_{\text{Sungai Purwodadi}} + Q_{\text{Sungai Greges}} \\ &= 0,21 \text{ m}^3/\text{detik} + 2,30 \text{ m}^3/\text{detik} \\ &= 2,51 \text{ m}^3/\text{detik} \times 3600 \text{ detik/jam} \\ &= 9036 \text{ m}^3/\text{jam} \end{aligned}$$

- Konsentrasi total MLVSS yang masuk ke dalam Boezem Morokrembangan ($MLVSS_s$)

$$\begin{aligned} &= \frac{Q_{\text{purwodadi}} \cdot [MLVSS]_{\text{purwodadi}} + Q_{\text{greges}} \cdot [MLVSS]_{\text{greges}}}{Q_{\text{purwodadi}} + Q_{\text{greges}}} \\ &= \frac{210 \text{ L/detik} \cdot 80,40 \text{ mg/L} + 2300 \text{ L/detik} \cdot 91,20 \text{ mg/L}}{210 \text{ L/detik} + 2300 \text{ L/detik}} \\ &= 90,3 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

- Total konsentrasi BOD yang masuk pada Boezem Morokrembangan (OD) = 147,3 mg/L

- Efisiensi removal BOD (EF_{OD}) = 27,7%

- Faktor koreksi karbon pada biomassa (CF_s) = 0,53 g C/g MLVSS

- Faktor konversi konsumsi C maksimum tiap unit oxygen demand (CF_c) = $12/32 = 0,375$ g C/g oxygen demand

Maka nilai yield (λ) biomassa dapat dihitung melalui perhitungan berikut ini:

$$\begin{aligned} \lambda &= \frac{Q_s \times MLVSS_s \times CF_s}{Q_{ww} \times OD \times EF_{OD} \times CF_c} \\ &= \frac{1,05 \frac{\text{m}^3}{\text{jam}} \times 90,3 \frac{\text{g}}{\text{m}^3} \times 0,53 \text{ g C/g BOD}}{9036 \frac{\text{m}^3}{\text{jam}} \times 147,3 \frac{\text{g}}{\text{m}^3} \times 0,277 \times 0,375 \text{ g C/g BOD}} \\ &= 0,000363 \end{aligned}$$

Gas rumah kaca yang diperhitungkan dalam penelitian ini adalah gas CO_2 dan CH_4 karena menurut penelitian yang dilakukan oleh Amiri *et. al* (2015) presentase produksi gas terbesar yang berasal proses pengolahan air limbah secara anaerobik adalah CH_4 yaitu sebesar 70% dan yang kedua adalah CO_2 sebesar 25%-30%, kemudian N_2 , H_2 , H_2S , uap air, dan gas lain dalam jumlah yang kecil. Gas CO_2 dan CH_4 merupakan gas rumah kaca, sehingga jika gas tersebut dalam jumlah yang besar

teremisikan ke atmosfer maka akan menyebabkan efek rumah kaca yang berdampak pada pemanasan global.

Perhitungan emisi gas rumah kaca pada Boezem Morokrempangan menggunakan model pendekatan rumus menurut US.EPA (2010). Dalam menghitung emisi gas rumah kaca digunakan nilai faktor yaitu *Methane Correction Factor* (MCF) yang merupakan nilai koreksi gas metan pada air limbah, dimana nilai tersebut menyatakan fraksi zat organik yang mampu terkonversi pada kondisi anaerobik dalam suatu unit pengolahan air limbah. Nilai MCF dapat dilihat pada tabel 2.2 dan mempunyai nilai yang berbeda-beda bergantung pada unit pengolahannya. Pada penelitian ini digunakan nilai MCF yaitu 0,8 sesuai pada tabel 2.2 bahwa nilai tersebut dapat digunakan untuk sistem pengolahan pada proses anaerobik, kolam fakultatif, dan pada proses digesting lumpur secara anaerobik. Hal ini sesuai dengan Boezem Morokrempangan yang dapat tergolong sebagai kolam fakultatif dimana menurut Putri (2014) kedalaman rata-rata Boezem Morokrempangan adalah 3 meter, dan terdapat 2 kondisi didalamnya yakni kondisi aerobik pada permukaan air dan kondisi anaerobik dengan kedalaman tertentu.

Nilai faktor lain yang digunakan dalam perhitungan emisi gas rumah kaca ini adalah nilai faktor konversi gas metan (CF_{CH_4}) dan faktor konversi gas karbondioksida (CF_{CO_2}) yang menyatakan nilai produksi dari masing-masing gas per unit *oxygen demand*. Nilai CF_{CH_4} adalah 0,5 g CH_4 /g *oxygen demand* sedangkan nilai CF_{CO_2} adalah 1,375 g CO_2 /g *oxygen demand*. Kemudian nilai fraksi CH_4 pada pembentukan biogas dinyatakan dengan BG_{CH_4} yang mempunyai nilai default 0,65.

Perhitungan emisi gas rumah kaca fase liquid air limbah pada Boezem Morokrempangan bagian selatan dihitung dengan formulasi berikut ini

Emisi CO_2

$$\begin{aligned}
 &= 10^{-6} \times Q_{ww} \times OD \times Eff_{OD} \times CF_{CO_2} \times [(1 - MCF_{ww} \times BG_{CH_4})(1 - \lambda)] \\
 &= 10^{-6} \times 9036 \frac{m^3}{jam} \times 147,3 \frac{g}{m^3} \times 0,277 \times 1,375 \times [(1 - 0,8 \times 0,65)(1 - 0,000363)] \\
 &= 0,243 \text{ ton } CO_2 / \text{jam} \\
 &\approx 5,832 \text{ ton } CO_2 / \text{hari}
 \end{aligned}$$

Emisi CH₄

$$\begin{aligned}
 &= 10^{-6} \times Q_{ww} \times OD \times Eff_{OD} \times CF_{CH_4} \times [(MCF_{ww} \times BG_{CH_4}) (1 - \lambda)] \\
 &= 10^{-6} \times 9036 \frac{m^3}{jam} \times 147,3 \frac{g}{m^3} \times 0,277 \times 0,5 \times [(0,8 \times 0,65)(1 - 0,000363)] \\
 &= 0,096 \text{ ton /jam} \\
 &\approx 2,3 \text{ ton /hari}
 \end{aligned}$$

Proses biodegradasi bahan organik dalam air limbah di Boezem Morokrempangan dapat menghasilkan gas CO₂ sebesar 5,893 ton CO₂/hari dan gas CH₄ sebesar 2,3 ton CH₄/hari. Selanjutnya, menghitung emisi gas rumah kaca dalam proses digesting lumpur pada Boezem Morokrempangan bagian selatan. menggunakan persamaan 2.4 dan 2.5 berikut ini

Emisi CO₂

$$\begin{aligned}
 &= 10^{-6} \times Q_s \times MLVSS \times CF_s \times \frac{44}{12} \times (1 - MCF_{ww} \times BG_{CH_4}) \\
 &= 10^{-6} \times 1,05 \frac{m^3}{jam} \times 90,3 \frac{g}{m^3} \times 0,53 \times \frac{44}{12} \times (1 - 0,8 \times 0,65) \\
 &= 0,000088 \text{ ton CO}_2/\text{jam} \\
 &\approx 0,00212 \text{ ton CO}_2/\text{hari}
 \end{aligned}$$

Emisi CH₄

$$\begin{aligned}
 &= 10^{-6} \times Q_s \times MLVSS \times CF_s \times \frac{16}{12} \times (1 - MCF_{ww} \times BG_{CH_4}) \\
 &= 10^{-6} \times 1,05 \frac{m^3}{jam} \times 90,3 \frac{g}{m^3} \times 0,53 \times \frac{16}{12} \times (1 - 0,8 \times 0,65) \\
 &= 0,000032 \text{ ton CO}_2/\text{jam} \\
 &\approx 0,00077 \text{ ton CO}_2/\text{hari}
 \end{aligned}$$

Proses digesting lumpur pada Boezem Morokrempangan bagian selatan dapat menghasilkan gas CO₂ sebesar 0,00212 CO₂/hari dan gas CH₄ sebesar 0,00077 ton CH₄/hari. Sehingga total gas rumah kaca yang diproduksi karena proses biodegradasi dalam Boezem Morokrempangan dapat dihitung dengan menambahkan jumlah gas CO₂ dan CH₄ yang dihasilkan pada fase liquid air limbah dan digesting lumpur menurut perhitungan berikut ini

Total laju produksi gas CO₂ pada Boezem Morokrempangan
= Emisi CO₂ fase liquid + Emisi CO₂ digesting lumpur
= 5,832 ton CO₂/hari + 0,00212 ton CO₂/hari
= 5,83 ton CO₂/hari

Total laju produksi gas CH₄ pada Boezem Morokrempangan
= Emisi CH₄ fase liquid + Emisi CH₄ digesting lumpur
= 2,3 ton CH₄/hari + 0,00077 ton CH₄/hari
= 2,301 ton CH₄/hari

Dari total gas yang diproduksi pada Boezem Morokrempangan dapat dilihat bahwa jumlah produksi gas cukup besar. Besarnya produksi gas ini disebabkan karena debit yang masuk pada Boezem Morokrempangan diperkirakan dalam keadaan debit puncak. Saat terjadi debit puncak maka bahan organik yang masuk ke dalam Boezem akan semakin besar, sehingga menyebabkan beban organik besar.

4.6 Analisis Pola Persebaran Alga pada Boezem Morokrempangan

Pada sub bab ini akan dibahas mengenai analisis pola persebaran alga berdasarkan nilai klorofil a alga pada 38 titik sampling di Boezem Morokrempangan bagian selatan. Dilakukan analisis mengenai hubungan nilai klorofil a alga dengan parameter fisik lain seperti nilai *Dissolved Oxygen* (DO) pada setiap titik dan kedalaman intensitas cahaya pada Boezem Morokrempangan bagian selatan.

4.6.1 Konsentrasi Klorofil a Alga dan Sebarannya pada Boezem Morokrempangan

Analisis klorofil a alga dilakukan di 38 titik sampling pada Boezem Morokrempangan bagian selatan. Analisis ini bertujuan untuk mengetahui jumlah biomassa alga yang tumbuh serta persebarannya dalam Boezem Morokrempangan bagian selatan. Menurut Butterwick *et. al.* (2017) salah satu metode yang dapat digunakan untuk mengestimasi jumlah biomassa alga adalah metode analisis klorofil a alga. Pada penelitian ini metode analisis klorofil a yang digunakan adalah metode spektrofotometri.

Pada penelitian ini dilakukan dua kali pengambilan sampel alga, hal ini bertujuan untuk mengetahui rata-rata nilai

klorofil a alga yang terdapat pada Boezem Morokrempangan bagian selatan. Sampel air yang mengandung alga yang telah diambil dari 38 titik sampling di dalam Boezem Morokrempangan bagian selatan dianalisis nilai klorofil a dalam laboratorium. Didapatkan hasil analisis klorofil a alga pada setiap titiknnya. Klorofil a merupakan salah satu parameter yang dapat digunakan sebagai indikator kesuburan dan kualitas perairan. Klorofil a merupakan pigmen yang terdapat pada organisme fitoplankton yang berperan dalam proses fotosintesis (Ulqodry dan Aryawati, 2013). Pada gambar 4.21 diketahui nilai klorofil a alga yang berbeda-beda pada masing-masing titik sampling. Tingginya rendahnya nilai klorofil pada titik-titik tersebut dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor. Menurut Semedi dan Safitri (2015) parameter yang berkaitan dengan persebaran klorofil a adalah suhu permukaan, kecerahan, oksigen terlarut, dan kecepatan arus.

Secara keseluruhan daerah Boezem yang memiliki nilai konsentrasi klorofil a yang besar terletak pada daerah tepi Boezem dan pada daerah tengah sisi timur Boezem Morokrempangan bagian selatan. Dapat dilihat bahwa konsentrasi nilai klorofil a yang terbesar pada Boezem Morokrempangan bagian selatan terdapat pada daerah tepi Boezem, titik yang mendekati outlet Boezem, serta daerah Boezem Morokrempangan bagian selatan pada sisi timur. Diketahui bahwa nilai konsentrasi klorofil a tertinggi berada pada titik 14 yaitu bernilai $106,8 \text{ mg/m}^3$, titik tersebut terletak di dekat outlet Boezem Morokrempangan bagian selatan. Tingginya konsetrasi alga pada perairan Boezem dibuktikan oleh warna air Boezem yang berwarna hijau.



(b)



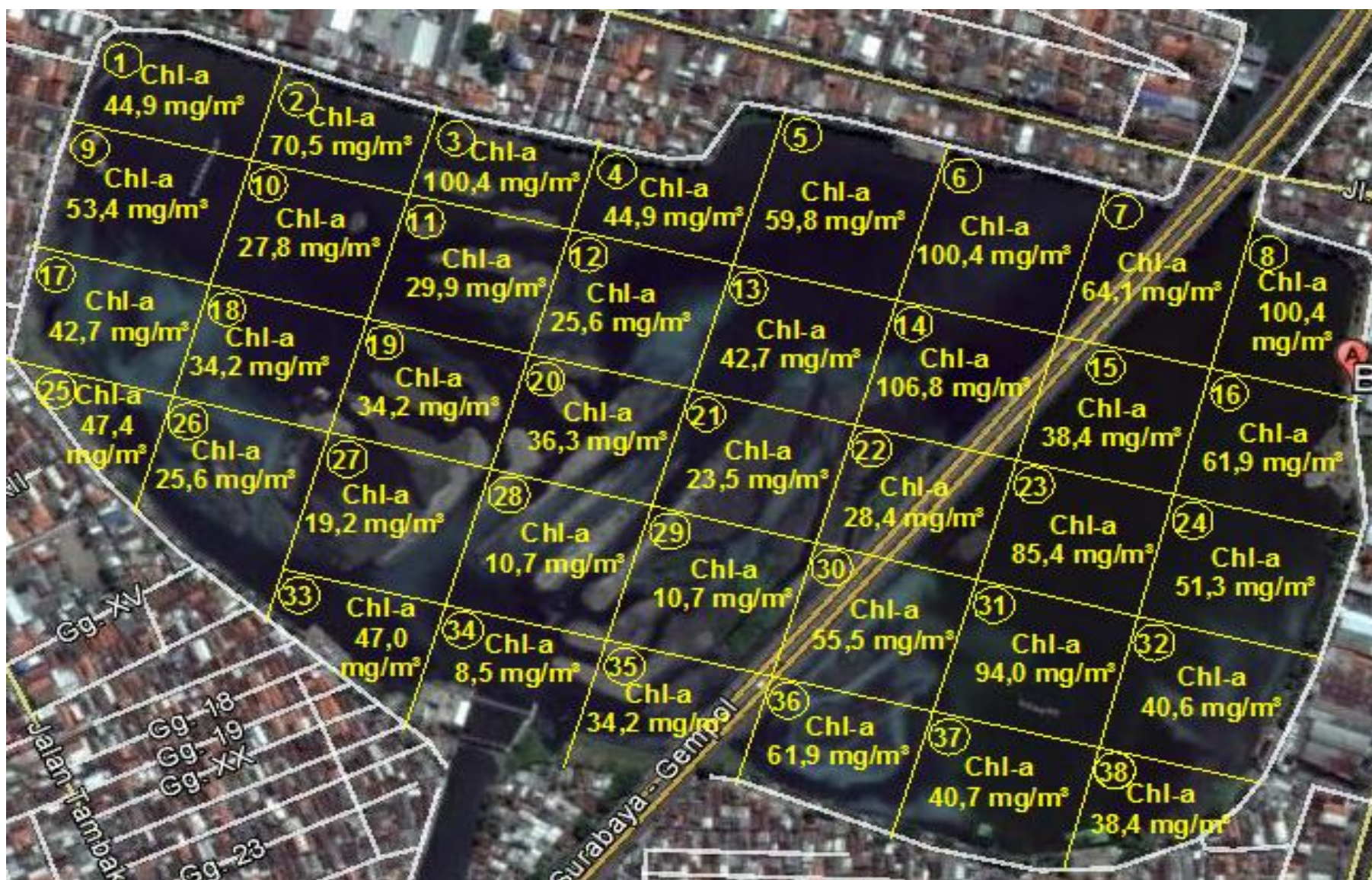
(a)

Gambar 4. 23 Air Boezem Morokrempangan yang Berwarna Hijau

Titik-titik lain yang mempunyai nilai konsentrasi klorofil a tinggi adalah titik 3, 6, dan 8, dimana titik tersebut mempunyai nilai konsentrasi klorofil a alga yang sama yaitu $100,4 \text{ mg/m}^3$. Keempat titik tersebut berada pada tepi Boezem. Diperkirakan bahwa pada titik-titik tepi Boezem tersebut terjadi akumulasi nutrisi sehingga alga dapat tumbuh dan berkembang pada titik tersebut. Hal ini dibuktikan dari pengamatan di lapangan pada titik-titik tepi tersebut terjadi pembuangan limbah cair domestik dari permukiman warga yang melalui saluran-saluran kecil di tepi Boezem, sehingga memungkinkan terjadi penambahan nutrisi pada perairan Boezem yang memicu pertumbuhan alga. Menurut Berkman dan Canova (2007) faktor yang mempengaruhi konsentrasi klorofil a alga adalah konsentrasi nutrisi dan bahan kimia lainnya yang ada pada perairan, serta faktor fisik lainnya seperti suhu dan cahaya matahari. Konsentrasi nutrisi yang tinggi dapat memicu pertumbuhan alga pada ekosistem perairan.

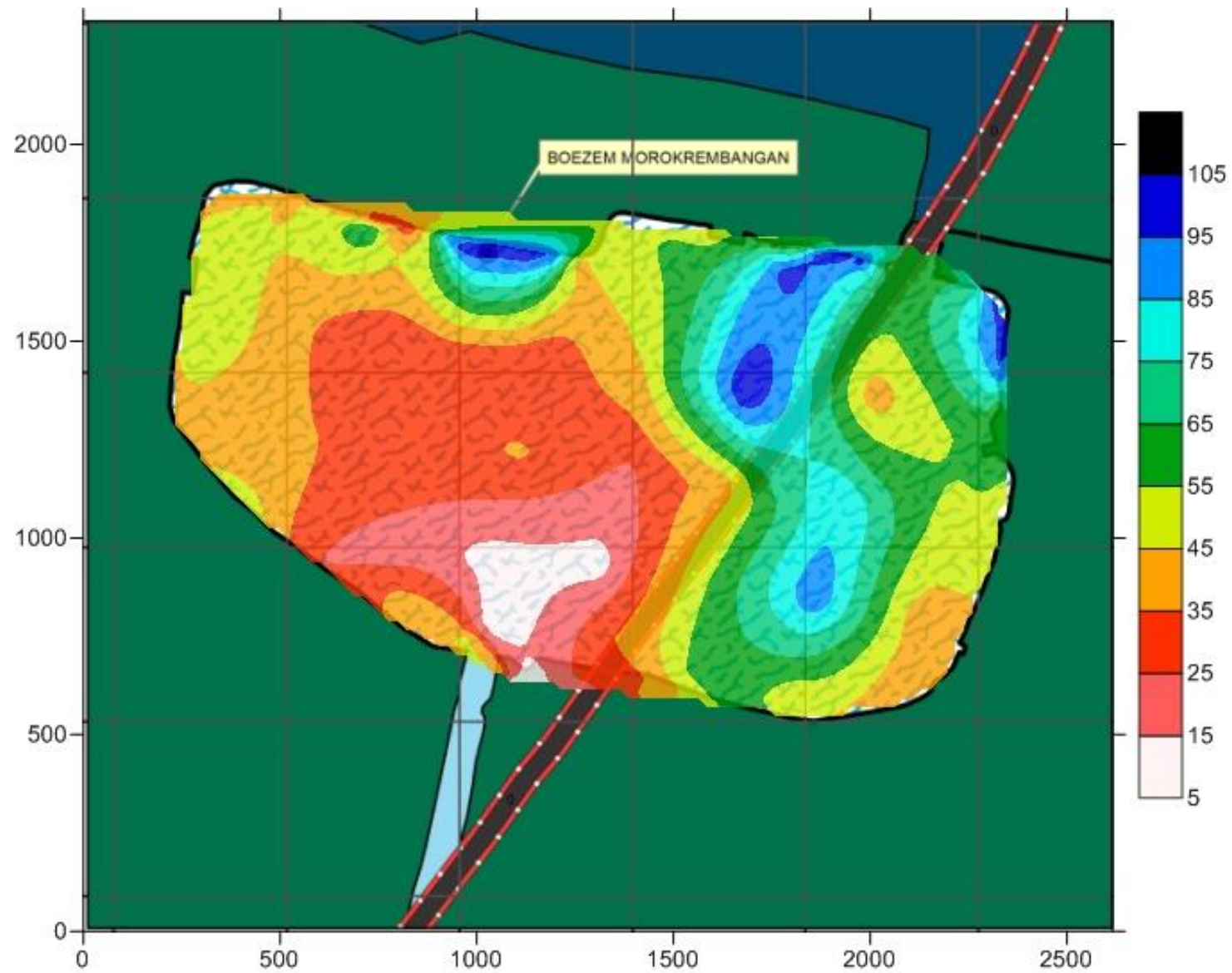
Pada sisi timur Boezem Morokrempangan tingginya konsentrasi klorofil a alga disebabkan adanya akumulasi nutrisi. Air limbah Boezem Morokrempangan bagian selatan berasal dari Sungai Greges dan Purwodadi mengandung bahan organik dan nutrisi. Sisi timur Boezem Morokrempangan bagian selatan mendapat input air limbah dari Sungai Purwodadi, dan dimungkinkan terjadinya akumulasi nutrisi pada lokasi tersebut. Selain itu, berdasarkan pengamatan di lapangan aliran yang tenang pada sisi timur Boezem mengakibatkan perjalanan massa air yang mengandung nutrisi berjalan lambat dan memungkinkan terjadinya akumulasi pada lokasi tersebut sehingga meningkatkan pertumbuhan alga pada ekosistem perairan.

Konsentrasi klorofil a yang rendah secara keseluruhan dapat dilihat terletak pada sisi tengah Boezem Morokrempangan bagian selatan, dan titik yang dekat dengan inlet Boezem. Hal ini dapat disebabkan karena pergerakan aliran air Boezem dari Sungai Greges yang cepat, sehingga air limbah yang masuk Boezem menyebar ke sisi tengah dan menuju ke arah outlet Boezem. Sehingga menyebabkan tidak adanya akumulasi nutrisi pada titik lokasi tersebut. Pola persebaran klorofil a alga pada Boezem Morokrempangan dapat dilihat pada gambar 4.24.



Gambar 4. 24 Nilai Klorofil a Alga pada Setiap Titik di Boezem Morokrebbangan bagian selatan

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



Gambar 4. 25 Kontur Persebaran Klorofil a Alga pada Boezem Morokrembangan bagian selatan

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

4.6.2 Korelasi antara Nilai Klorofil a Alga dan *Dissolved Oxygen* (DO)

Nilai DO pada perairan dipengaruhi beberapa faktor diantaranya adalah arus, suhu, dan keberadaan fitoplankton dalam ekosistem perairan (Muriasih, 2012). Sehingga salah satu parameter yang mempengaruhi nilai DO pada ekosistem perairan adalah nilai klorofil fitoplankton. Nilai klorofil a alga dan nilai DO menunjukkan hubungan keterkaitan antar kedua parameter tersebut. Oksigen akan dihasilkan pada perairan yang mengandung fitoplankton dan alga hijau dengan kelimpahan yang tinggi melalui proses fotosintesis. Terjadinya proses fotosintesis dalam suatu perairan pada kedalaman tertentu mengindikasikan banyaknya kandungan oksigen pada lokasi tersebut (Simanjuntak, 2009). Secara keseluruhan nilai DO pada Boezem Morokrempangan bagian selatan ini berbeda-beda. Nilai DO pada Boezem Morokrempangan bagian selatan berkisar antara 1,13 mg/L hingga 4,53 mg/L. Dapat dilihat pada gambar 4.23 bahwa sebaran nilai DO pada kisaran angka ≥ 2 mg/L berada pada lokasi tepi Boezem, hal ini sesuai dengan nilai klorofil a alga yang memiliki konsentrasi besar pada daerah tersebut. Indikasinya adalah perairan pada bagian tepi Boezem berwarna lebih hijau yang menandakan keberadaan organisme autotrof, yaitu fitoplankton seperti alga. Menurut Mara (2003) alga meningkatkan kandungan oksigen dalam air selama proses fotosintesis yang mana sangat bermanfaat bagi bakteri heterotrof untuk respirasi dalam upaya *me-removal* kandungan BOD.

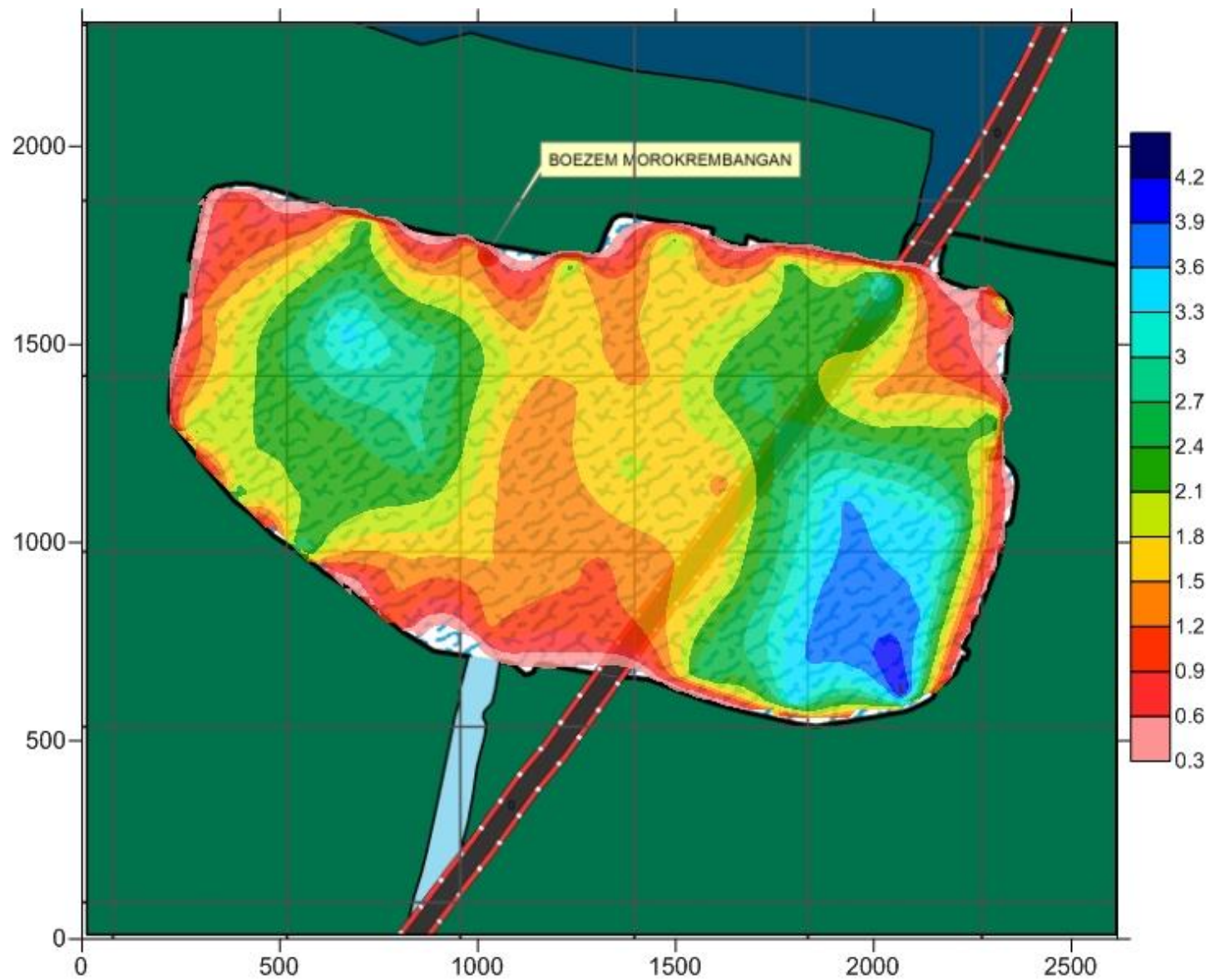
Fitoplankton memanfaatkan karbondioksida dan energi cahaya matahari untuk fotosintesis dan kemudian menghasilkan oksigen ke dalam perairan (Cole, 1983 dalam Muriasih, 2012). Sementara itu, Boyd (1982) dalam Muriasih, (2012) menyatakan bahwa sumber utama DO pada perairan berasal dari proses fotosintesis oleh autotrof seperti fitoplankton. Dengan demikian nilai DO dalam Boezem diduga lebih banyak disebabkan oleh fotosintesis yang dilakukan oleh fitoplankton. Hal ini sesuai dengan pengamatan di lapangan bahwa terdapat alga yang menyebabkan warna perairan Boezem Morokrempangan bagian selatan berwarna hijau.

Banyaknya alga dalam perairan Boezem dinyatakan oleh nilai klorofil a alga pada setiap titik sampling. Nilai DO pada kisaran angka 1 mg/L mendominasi pada daerah tengah Boezem Morokrembangan bagian selatan hal ini sesuai dengan nilai klorofil a alga. Nilai klorofil a alga pada daerah tengah Boezem Morokrembangan menunjukkan konsentrasi yang kecil. Indikasi parameter klorofil a alga ini menunjukkan besarnya kelimpahan alga, sehingga diperkirakan pada daerah ini oksigen terlarut yang dihasilkan dari proses fotosintesis alga kecil dikarenakan jumlah kelimpahan alga yang kecil. Namun tidak menutup kemungkinan bahwa besarnya nilai DO dalam perairan bukan hanya disebabkan oleh organisme fotoautotrof, melainkan disebabkan karena adanya turbulensi pada air karena hempasan angin, sehingga menambah efek aerasi pada air dan DO pada air mengalami kenaikan. Faktor aerasi tersebut menggunakan mekanisme transfer gas yaitu apabila terjadi hempasan angin pada permukaan air maka akan menyebabkan kontak air dengan udara. Hal tersebut menyebabkan berpindahnya O_2 dalam fase gas ke fase cair.



Gambar 4. 26 Nilai Klorofil a Alga dan *Dissolved Oxygen* (DO) pada Setiap Titik di Boezem Morokrempangan bagian selatan

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



Gambar 4. 27 Kontur Persebaran DO pada Boezem Morokrembangan bagian selatan

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

4.6.3 Korelasi antara Nilai Klorofil a Alga dan Kedalaman Penetrasi Cahaya Matahari (*Secchi Depth*)

Nilai klorofil a merupakan parameter yang digunakan untuk mengukur biomassa alga pada ekosistem perairan. Hubungan antara nilai klorofil a alga dan kedalaman *secchi depth* menunjukkan kedalaman intensitas cahaya matahari yang masuk ke dalam perairan. Hal ini mengindikasikan sejauh mana sinar matahari dapat masuk kedalam ekosistem perairan, sehingga dalam rentang kedalaman tersebut dimungkinkan terjadi proses fotosintesis alga.

Menurut Balali *et. al.* (2012) hubungan antara nilai klorofil a alga dengan kedalaman *secchi depth* menunjukkan hasil yang signifikan berbanding terbalik. Kedalaman intensitas cahaya matahari ditentukan oleh jumlah partikel tersuspensi yang dalam hal ini diindikasikan oleh jumlah biomassa fitoplankton dalam ekosistem perairan. Sehingga diketahui bahwa fitoplankton memiliki keterbatasan untuk mendapatkan cahaya ketika kekeruhan air tinggi. Pada penelitian ini didapatkan nilai kedalaman *secchi depth* pada setiap titik di Boezem Morokrembangan bagian selatan. Nilai kedalaman *secchi depth* berkisar antara 0,25 m hingga 0,47 m. Nilai kedalaman ini menunjukkan batas cahaya matahari dapat menembus perairan. Tinggi rendahnya kedalaman *secchi depth* dipengaruhi oleh tingkat kekeruhan air pada lokasi tersebut. Kekeruhan air dapat disebabkan oleh adanya suspensi alga yang tumbuh pada ekosistem perairan. Hal ini diindikasikan oleh air Boezem yang berwarna hijau yang menunjukkan adanya suspensi alga pada lokasi tersebut.

Hubungan nilai klorofil alga pada kedalaman *secchi depth* dalam penelitian ini ditunjukkan pada titik-titik yang memiliki nilai konsentrasi klorofil a alga yang besar memiliki kedalaman *secchi depth* yang rendah. Seperti pada gambar 4.25 diketahui pada titik 14 nilai klorofil a alga sebesar 106,8 mg/L mempunyai nilai kedalaman secchi disk sebesar 0,37 m. Jumlah biomassa alga yang besar ditunjukkan oleh nilai klorofil a alga yang besar, sehingga intensitas cahaya yang masuk kedalam perairan juga

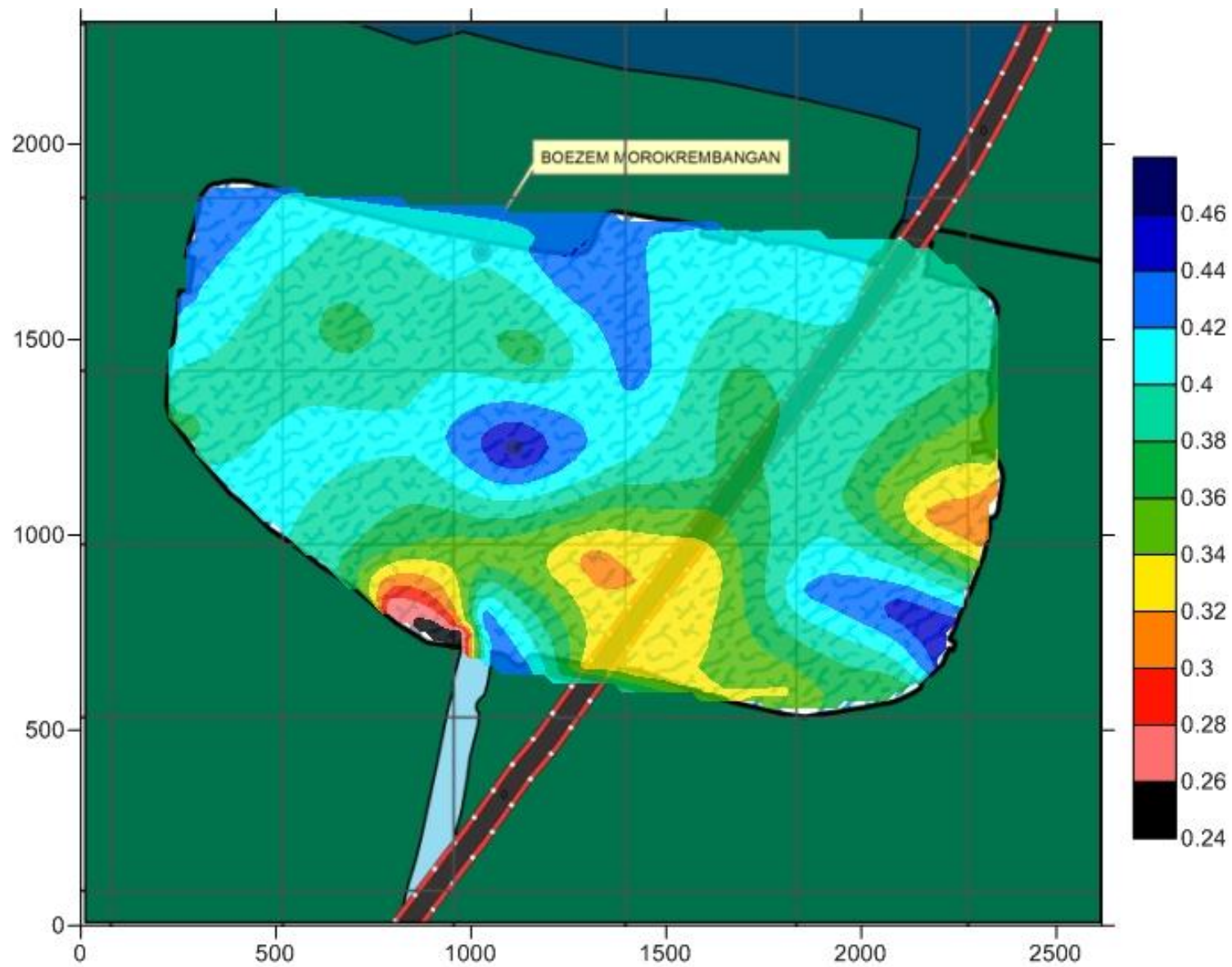
terbatas. Cahaya matahari memiliki ambang batas kedalaman dalam menembus perairan yang ditunjukkan oleh kedalaman *secchi depth* yang tampak pada permukaan air.

Adanya keterbatasan cahaya matahari dalam menembus perairan ini disebabkan oleh kekeruhan yang tinggi pada air akibat adanya biomassa alga yang besar. Pada titik-titik yang mempunyai nilai klorofil a alga yang besar mempunyai nilai kedalaman *secchi depth* lebih besar seperti yang terlihat pada titik-titik yang berada pada tengah Boezem. Nilai klorofil a alga yang rendah berkisar antara 20 mg/L hingga 40 mg/L mempunyai kedalaman *secchi depth* yang besar yaitu lebih besar dari 0,40 m. Jumlah biomassa alga yang relatif kecil diindikasikan oleh nilai konsentrasi klorofil a alga yang kecil, sehingga cahaya matahari dapat menembus perairan mencapai kedalaman yang lebih dalam.

Pada penelitian ini juga terdapat titik-titik yang memiliki nilai klorofil a alga rendah dan memiliki kedalaman *secchi depth* yang rendah pula. Seperti pada titik 27, 28, dan 29 nilai klorofil a alga hanya berkisar antara 10 mg/L hingga 20 mg/L, namun memiliki kedalaman *secchi depth* pada kisaran 0,30 m hingga 0,40 m. Dengan demikian, jumlah alga yang tumbuh pada titik lokasi tersebut kecil yang ditunjukkan oleh nilai klorofil a alga yang kecil, namun cahaya matahari yang dapat menembus titik tersebut juga terbatas. Kekeruhan air yang tinggi diindikasikan oleh rendahnya kedalaman *secchi depth* yang rendah pada titik lokasi tersebut, dan kekeruhan ini bukan disebabkan oleh alga yang tumbuh pada titik lokasi tersebut melainkan terdapat faktor lain yang mempengaruhi.

Faktor lain yang dapat mempengaruhi adalah adanya kandungan TSS yang tinggi pada perairan Boezem. Menurut Irawati (2011) nilai klorofil a yang rendah pada lokasi sampling diduga disebabkan oleh koefisien peredupan. Koefisien peredupan disebabkan oleh kekeruhan dan TSS yang tinggi sehingga intensitas cahaya yang masuk ke perairan sangat rendah. Rendahnya nilai intensitas cahaya yang masuk ke perairan dapat menyebabkan proses fotosintesis oleh fitoplankton terhambat.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



Gambar 4. 29 Kontur *Secchi Depth* pada Boezem Morokrembangan bagian Selatan

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

4.7 Analisis Potensi Serapan Gas Rumah Kaca oleh Alga

Menurut Xin (2011) adanya klorofil dalam alga dapat membantu proses fotosintesis, sehingga melalui mekanisme proses fotosintesis mikroalga dapat menyerap karbondioksida (CO₂) menggunakan energi matahari. Secara stoikiometri 1 gram sel alga mampu menyerap 1,92 gram CO₂. Sehingga untuk menghitung potensi alga pada Boezem Morokrembangan dalam menyerap CO₂ maka dihitung jumlah biomassa alga yang terdapat di Boezem. Menurut Bellinger dan Sigeo (2010) biomassa alga dapat diestimasi dengan mengalikan nilai klorofil a alga dengan nilai faktor 67. Pada penelitian ini setelah mendapatkan nilai klorofil a alga pada masing-masing titik kemudian dikalikan dengan nilai faktor 67. Hasil perkalian tersebut merupakan nilai biomassa alga pada setiap titik pengambilan sampel.

Pada penelitian ini dilakukan pengambilan sampel alga sebanyak dua kali untuk mengetahui rata-rata konsentrasi klorofil a alga. Sehingga nilai klorofil a alga yang digunakan merupakan hasil rata-rata dari dua kali pengambilan sampel. Setelah didapatkan rata-rata nilai klorofil a alga pada setiap titik sampling maka dihitung jumlah biomassa alga dalam satu area grid. Luasan grid ditentukan yaitu 100 m x 100 m, kemudian saat melakukan sampling alga diukur kedalaman *secchi diepth* yang menunjukkan batas intensitas cahaya matahari masuk ke dalam ekosistem perairan. Kedalaman ini, digunakan sebagai pendekatan untuk mengestimasi kedalaman zona yang ditumbuhi alga. Sehingga dari luasan grid dan kedalaman zona yang ditumbuhi alga didapatkan volume biomassa alga dalam 1 luasan grid.

Sebagai contoh pada titik 1 nilai rata-rata konsentrasi klorofil a alga adalah 44,9 mg/m³. Konversi biomassa alga didapatkan dari hasil kali nilai rata-rata konsentrasi klorofil a alga dengan faktor 67, sehingga jumlah biomassa alga adalah 2691,36 mg/m³. Perhitungan jumlah biomassa alga dalam satu luasan grid adalah sebagai berikut, jika diketahui dari hasil pengukuran kedalaman *secchi disk* adalah 0,44 m.

$$\begin{aligned}\text{Jumlah biomassa alga} &= 3005,35 \frac{\text{mg}}{\text{m}^3} \times \frac{1 \text{ gram}}{1000 \text{ mg}} \times 100\text{m} \times 100\text{m} \times 0,44 \text{ m} \\ &= 13.073,28 \text{ gram}\end{aligned}$$

Dilakukan perhitungan jumlah biomassa alga pada luasan grid di 38 titik sampling. Untuk mengetahui jumlah biomassa alga di keseluruhan wilayah Boezem Morokrempangan bagian selatan maka dilakukan penjumlahan jumlah biomassa alga pada 38 titik sampling, sehingga diketahui keseluruhan jumlah biomassa alga di Boezem adalah 481.121,08 gram. Merujuk pada persamaan 2.6 dan 2.7 diketahui bahwa 1 gram sel alga setara dengan 1,92 gram CO₂, sehingga jumlah serapan CO₂ oleh alga pada Boezem Morokrempangan bagian selatan dapat dihitung dengan cara berikut ini

$$\begin{aligned}\text{Gram CO}_2/\text{hari} &= 481.121,08 \times 1,92 \\ &= 923.752,47 \text{ gram CO}_2/\text{hari} \\ &= 923,75 \text{ kg CO}_2/\text{hari}\end{aligned}$$

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa alga dalam Boezem Morokrempangan bagian selatan mampu menyerap CO₂ sebesar 923,75 kg CO₂/hari. Hal ini hanya berlaku pada siang hari yaitu 12 jam penyinaran karena terdapat pencahayaan alami oleh sinar matahari. Dari hasil perhitungan, gas CO₂ yang diproduksi di Boezem Morokrempangan adalah sejumlah 5,83 ton CO₂/hari sehingga jika dalam waktu siang hari dihitung pada pukul 06.00 WIB -18.00 WIB (12 jam) maka total produksi gas CO₂ diestimasikan sebesar 2,915 ton CO₂ atau setara dengan 2.915 Kg CO₂. Dari hasil tersebut diketahui bahwa gas CO₂ yang teremisikan pada siang hari sebesar 1.991,25 kg. Sehingga potensi penyerapan CO₂ oleh alga pada siang hari dalam Boezem adalah:

$$\begin{aligned}\% \text{ Potensi serapan CO}_2 &= \frac{\text{Serapan CO}_2 \text{ oleh alga}}{\text{Produksi gas CO}_2} \times 100 \\ &= \frac{923,75 \text{ ton CO}_2}{2.915 \text{ ton CO}_2} \times 100 \\ &= 31,8\end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan di atas, maka diketahui potensi serapan CO₂ oleh alga pada siang hari dalam Boezem adalah 31,8%. Pada saat malam hari, alga mengalami reaksi respirasi. Reaksi berbalik pada saat malam hari karena tidak ada cahaya matahari sehingga alga mengalami proses respirasi yang

membutuhkan oksigen dan menghasilkan CO₂. Prediksi emisi CO₂ pada malam hari dihitung sejak pukul 18.00 WIB – 06.00 WIB yang didapatkan dari hasil respirasi alga dan CO₂ yang bersumber dari air pada Boezem. Emisi CO₂ yang bersumber dari proses respirasi alga diestimasikan sebesar 923, 75 kg CO₂ /hari. Jumlah ini sama CO₂ yang diserap pada saat siang hari. Pada air limbah jumlah emisi CO₂ sebesar 2,915 ton CO₂ atau setara dengan 2.915 Kg CO₂. Dari hasil tersebut diketahui bahwa masih terdapat gas CO₂ yang teremisikan pada malam hari sebesar 3.842,75 kg CO₂ saat malam harinya.

Proses penyerapan gas CO₂ oleh alga berlangsung pada saat siang hari dimana terjadi fotosintesis tumbuhan fototropik. Keseimbangan gas yang terjadi di Boezem dengan mekanisme transfer gas, dimana ada gas yang diproduksi dan ada gas yang terdifusi ke dalam perairan. Transfer gas bergantung pada kelarutan gas yang dipengaruhi oleh faktor suhu air, tekanan parsial gas dalam fase gas, konsentrasi padatan terlarut dalam air, dan komposisi kimia gas (Masduqi dan Assomadi, 2012). Dalam hal ini keseimbangan gas pada Boezem Morokrempangan dijustifikasikan bahwa terjadi melalui mekanisme transfer gas dalam keadaan *steady state*. Dijustifikasikan sistem yang terdapat di Boezem Morokrempangan berjalan dalam keadaan *steady state* dimana tidak terjadi perubahan atau sistem berjalan secara konstan. Artinya adalah suhu, tekanan gas, konsentrasi zat terlarut, dan komposisi kimia gas tidak berubah seiring berjalannya waktu. Sehingga bila permukaan air dipaparkan dengan udara atau gas dan belum terjadi keseimbangan, maka secara serentak dan segera pada bidang kontak antar fase akan jenuh dengan gas dan gas ditransportasikan ke badan air dengan proses difusi molekuler. Sehingga pada saat terjadi proses pembentukan gas maka saat itu belum terjadi keseimbangan sehingga gas yang terdapat di udara bebas terdifusi ke dalam perairan. Sebaliknya saat terjadi kejenuhan dalam perairan maka akan terjadi pelepasan gas ke udara bebas.

Melihat potensi serapan CO₂ oleh alga, maka dapat dijadikan suatu pertimbangan bahwa alga berpotensi menyerap

emisi CO₂ dari proses biodegradasi dan dapat dijadikan sebagai upaya mitigasi pemanasan global. Untuk meningkatkan potensi serapan CO₂ oleh alga guna melakukan upaya reduksi emisi CO₂ yang lebih besar maka diperlukan upaya pengelolaan pada Boezem Morokrembangan bagian selatan dengan memanfaatkan alga. Pengelolaan dapat dilakukan dengan mempertahankan produktifitas alga agar tercipta sistem alga-bakteri yang baik untuk proses pemulihan diri pada Boezem dan menyerap CO₂. Strategi pengelolaan untuk mempertahankan kinerja Boezem dan aplikasi sistem alga-bakteri adalah dengan cara melakukan pengendalian pada sedimen Boezem Morokrembangan. Pengendalian sedimen dilakukan dengan cara melakukan pengerukan pada daerah-daerah yang berpotensi mengalami pendangkalan yang cepat untuk menciptakan ketinggian air dalam fase aerob yang optimal bagi pertumbuhan alga. Menjaga aliran air dalam Boezem Morokrembangan merupakan salah satu faktor yang penting untuk meningkatkan produktifitas alga. Pada daerah sekitar inlet Boezem dari Sungai Purwodadi terdapat konsentrasi alga yang tinggi, hal ini dikarenakan aliran air dari Sungai Purwodadi yang lambat dan tidak menyebar di keseluruhan wilayah Boezem. Kondisi aliran air yang demikian menyebabkan akumulasi nutrien pada daerah tersebut. Aliran air yang hanya menyebar di daerah sekitar ini disebabkan adanya pembatas tiang jalan tol yang membelah Boezem Morokrembangan bagian selatan menjadi dua sisi. Pada bagian bawah jalan tol tersebut terdapat endapan sampah dan sedimen yang dapat menghambat aliran air baik dari Sungai Purwodadi maupun dari Sungai Greges. Untuk mengatasi hal tersebut maka diperlukan pembersihan sampah dan sedimen secara berkala. Hal tersebut bertujuan agar terjadi aliran air yang merata, sehingga penyebaran nutrien akan merata pada keseluruhan wilayah Boezem. Dengan demikian alga dapat tumbuh dan berkembang menyebar secara merata pada seluruh wilayah Boezem Morokrembangan.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Hasil penelitian ini dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Proses biodegradasi pada Boezem Morokrembangan yang terjadi dalam kondisi anaerobik menyebabkan emisi gas rumah kaca pada Boezem. Potensi gas rumah kaca pada Boezem Morokrembangan menunjukkan produksi gas CO₂ sebesar 5,83 ton CO₂/hari dan gas CH₄ sebesar 2,301 ton CH₄/hari.
2. Alga dalam ekosistem perairan Boezem Morokrembangan tumbuh menyebar pada keseluruhan wilayah Boezem. Konsentrasi terbesar alga terdapat pada daerah tepi-tepi Boezem dan daerah mendekati outlet Boezem Morokrembangan.
3. Kemampuan alga dalam menyerap gas CO₂ di Boezem yaitu 923, 75 kg CO₂ pada siang hari, atau setara dengan 31,8% dari total produksi gas CO₂ sebesar 2.915 kg CO₂ pada siang hari.

5.2 Saran

Saran yang dapat dilakukan sebagai bagian dari kelanjutan penelitian adalah:

1. Perlu dilakukan perhitungan produksi gas pada Boezem Morokrembangan dengan metode lain seperti pendekatan formulasi IPCC dan *mass balance*.
2. Analisis kandungan nutrisi terhadap air Boezem Morokrembangan, untuk mengetahui kandungan nutrisi sehingga dapat dikorelasikan dengan sebaran alga pada Boezem.
3. Penelitian terhadap jenis spesies alga yang tumbuh di Boezem Morokrembangan, agar dapat diprediksi kemampuan serapan masing-masing spesies alga yang tumbuh pada Boezem.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

- AGS (The Alliance for Global Sustainability and Nordic Energy Perspectives). 2010. The complexity if climate change mechanisms. **AGS Pathways Report**.
- Ai, N. S., Bano, Y. 2011. Konsentrasi Klorofil Daun Sebagai Indikator Kekurangan Air pada Tanaman. **Jurnal Ilmiah Sains**. Vol. 12 No. 2.
- Al-Hashimi, Mohammed Ali dan Hussain, Hayder Talee. 2013. Stabilization Pond For Wastewater Treatment. **European Scientific Journal**. Vol. 9, No. 14.
- Amiri, A.W., Tsutsumi, J. G., Nakamatsu, R. 2015. Energy from Domestic Wastewater and Recovering The Potential Energy of Sewage Sludge. **Journal of Energy Technologies and Policy**. Vol 5(12).
- Ammary, B.Y. 2004. Nutrient Requirements in Biological Industrial Wastewater Treatment. **African Journal of Biotechnology**. 3(4):236–238.
- Badan Standardisasi Nasional. 2008. **Metode Pengambilan Contoh Air Permukaan**. 6989.57.2008.
- Badan Standardisasi Nasional. 2015. **Tata Cara Pengukuran Debit Aliran Sungai dan Saluran Terbuka Menggunakan Alat Ukur Arus dan Pelampung**. 8066.2015.
- Balali, S., Hoseini, S. A., Ghorbani, R., Balali, S. 2012. Correlation of Chlorophyll-A with Secchi Disk Depth and Water Turbidity in the International Alma Gol Wetland, Iran. **World Journal of Fish and Marine Sciences**. Vol 4 (5):504-508.
- Bellienger, E.G., Sigee, D.C. 2010. Fresh Water Algae Identification and Use as Bioindicators.
- Berkman, J.A.H., Canova, M.G. 2007. **Algal Biomass Indicators**. U.S. Geological Survey TWRI Book 9. Hal 6.
- Bittencourt, S., E., Wilerson, S., Cesar J., Vanete, T., S., Christian, L., Ashok P., Ricardo, S., C. 2010. Potential Carbondioxide Fixation by Industrially Important Microalgae. **Bioresour Technol**; 101:5892–6.
- Boyd C.E. 1982. **Water Quality in Warm Water Fish Pond**. Departement of Fisheries Allied Aquaculture, Agriculture

- Experimental Station Auburn University. Auburn Alabama. Hal 52.
- Butterwick, C., Heaney, S.I., Tailling, J.F. 2017. A Comparison of Eight Methods for Estimating The Biomass and Growth of Planktonic Algae. **British Phycological Journal**. 17:1, 69-79.
- Campos, J.L., Valenzuela-heredia, D., Pedrouso, A., Belmonte, M., Mosquera-Corral A. 2016. Greenhouse Gases Emissions from Wastewater Treatment Plants: Minimization, Treatment, and Prevention. **Journal of Chemistry**. Vol 1: 1-12.
- Clement, Ami C., Andrew C. Baker, dan Julie L. 2010. Climate Change: Patterns of Tropical Warming. **Natural Geoscience**, 3. Hal 8-9.
- Cole, G.A. 1983. **Textbook of Limnology 3rd Ed**. Waveland Press. USA. Hal 41.
- Coubert, J-M., A. Marquot, A-E., Stricker, Y., Racault, S., Gallot, A., Heduit. 2009. Anoxic and Anerobic Values for The Yield Coefficient of Heterotrophic Biomass: Determination at Full-scale Plants and Consequences on Simulations. **Water SA**. 35(1): Hal 103-109.
- Daelman, MRJ., Voorthuizen WMV., Dongen UGJMV., Volcke EIP., Loosdrecht MCMV. 2012. Methane Emission During Municipal Wastewater Treatment. **Water Research**. Vol 46(11): 3657-3670.
- De Morais, M., G., Costa, J., A., V. 2007. Isolation and Selection of Microalgae from Coal Fired Thermoelectric Power Plant for Biofixtation of Carbon dioxide. **Energy Covers Manage**. 41: 633-46.
- Effendi, H. 2003. **Telaah Kualitas Air**. Penerbit Kanisius. Yogyakarta. 257 h.
- Glaz, P., Bartosiewicz, M., Laurion, I., Reichwaldt, E. S., Maranger, R., Ghadouani, A. 2016. Greenhouse Gas Emissions from Waste Stabilisation Ponds in Western Australia and Quebec (Canada). **Water Research**. 101, 64-74.
- Gupta, D., Singh, S.K. 2012. Greenhouse Gas Emissions from Wastewater Treatment Plants: A Case Study of Noida. **Journal of Water Sustainability**. 2, 2:131-139.

- Hananta, A., C. 2010. **Studi Kinerja Boezem Morokembangan pada Penurunan Kandungan Nitrogen Organik dan Fosfat Total**. Tugas Akhir. Jurusan Teknik Lingkungan ITS. Surabaya.
- Hasriyani. 2010. **Studi Kinerja Boezem Morokembangan pada Penurunan Kandungan Total Solid dan Zat Organik sebagai *Permanganate Value (PV)***. Tugas Akhir. Jurusan Teknik Lingkungan ITS. Surabaya.
- Hirata S., Hayashitani, M., Taya, M., Tone, S. 1996. Carbondioxide Fixation Inbatch Culture of Chlorella sp. Using a Photobioreactor with a Sunlight-Collection Device. **J.Ferment.Bioeng**; 81(5):470–2.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2006. **IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories vol 5: Waste**
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2013. In: Solomon, S., *et al.* **Climate Change 2013: the Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge Univ. Press, Cambridge, New York.
- Ip, S., Y. Bridger J., S., Chin C., T., Martin, W., R., B., Raper, W., G., C.1982. Algal Growth in Primary Settled Sewage: The Effects of Five Key Variables. **Water Res.** Vol 16 (5):621-32.
- Irawati, N. 2011. Hubungan Produktivitas Primer Fitoplankton dengan Ketersediaan Unsur Hara pada Berbagai Tingkat Kecerahan di Perairan Teluk Kendari Sulawesi Tenggara. **Tesis**. Institut Pertanian Bogor. Hal 64-65.
- Kementrian Lingkungan Hidup. 2012. **Pedoman Penyelenggaraan Inventarisasi Gas Rumah Kaca Nasional Volume 1 Metodologi Perhitungan Emsi Gas Rumah Kaca Pengadaan dan Penggunaan Energi**. Jakarta.
- Law, Y., Ye, L., Yuan Z. 2012. Nitrous Oxide Emissions from Wastewater Treatment Processes. **Philosophical Transactions of The Royal Society B: Biological Science**. Vol 367(1593): 1265-12277.

- Low, E.W., dan H.A. Chase. 1999. Reducing Production Of Excess Biomass During Wastewater Treatment. **Water Research**. 37(5):1119–1132.
- Malisie, A.F., Prihandrijanti, M., I., Otterpoh, R. 2007. “The Potential of Nutrient Reusse from A Source-separated Domestic Wastewater System In Indonesia – Case Study: Ecological Sanitation Pilot Plant In Surabaya”. **Water Science & Technology** 56, 5:141-148.
- Mangisu, D. 2008. **Analisis Operasional Boezem sengan Fasilitas Pengatur Air yang Tersedia (Studi Kasus: Boezem Morokrembangan)**. Tesis. Surabaya: Jurusan Teknik Sipil FTSP-ITS.
- Mara, D. 2003. **Domestic Waste Water Treatment In Developing Countries**. UK: Cromwell Press, Trowbridge.
- Masduqi, A., Assomadi, A.F. 2012. **Operasi & Proses Pengolahan Air**. ITS. Press.
- Metcalf dan Eddy. 1991. **Wastewater Engineering: Treatment and Reuse, 3th edition**. New York: Mc Graw Hill.
- Metcalf dan Eddy. 2014. **Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery, 5th edition**. New York: Mc Graw Hill.
- Mike, Packer. 2009. Algal Capture of Carbon Dioxide; Biomass Generation as Tool for Greenhouse Gas Mitigation With Reference to New Zealand Energy Strategy and Policy. **Energy Policy**; 37(9);3428-37.
- Monteith, H., D., Sahely, H., R., MacLaeen, H., L., Bagley, D., M. 2005. A rational Procedure for Estimation of Greenhouse-gas Emissions from Municipal Wastewater Treatment Plants. **Water Environment Research**, 77(4): 390-403.
- Morris, L., Colombo V., Hassell, K., Kellar, C., Leahy, P., Long, Sara M., Myers, J.H., Pettigrove, V. 2016. “Municipal Wastewater Effluent Licensing : A Global Perspective and Recommendations for Best Practice”. **Science of The Total Environment**: 13.
- Muller, A., M.C. Wentzel, R.E. Loewenthal, and G.A. Ekama. 2003. Heterotroph Anoxic Yield In Anoxic Aerobic Activated Sludge Systems Treating Municipal Wastewater. **Water Research**. 37(10): 2435–2441.

- Munz, G., R. Gori, L. Cammil, and C. Lubello. 2008. Characterization Of Tannery Wastewater and Biomass in a Membrane Bioreactor using Respirometric Analysis. **Bioresource Technology**. 99(19): 8612-8618.
- Murakami M. dan Ikenouchi M. 1997. The Biological CO₂ Fixation and Utilization Project by RITE(2): Screening and Breeding of Microalgae with High Capability in Fixing CO₂. **Energy Convers. Manag.** 1997;38(1):493–7.
- Muriasih, W. 2012. **Penyebaran Oksigen Terlarut dari Sungai Cicendo di Waduk Cirata, Jawa Barat**. Skripsi. Departemen Manajemen Sumberdaya Perairan. IPB. Bogor. Hal 27-31.
- Park, J.B.K., Craggs, R.J., Shilton, A.N. 2011. Wastewater Treatment High Rate Algal Ponds for Biofuel Production. **Bioresource Technology**. 102 (1), 35–42.
- Prapta, S., C. 2012. **Studi Kemampuan Alga Dalam Menyerap Karbon (Carbonsink) Sebagai Upaya ALternatif Dalam Mengurangi Emisi Karbon (CO₂)**. Tugas Akhir. Jurusan Teknik Lingkungan ITS. Surabaya.
- Priadeie, B., Pirngadi, B., H. 2014. Simulasi Pencapaian Target Rencana Aksi Nasional Mitigasi Gas Rumah Kaca Sektor Air Limbah. Peneliti Balai Lingkungan Keairan, Puslitbang Sumber Daya Air. **Jurnal Sumber Daya Air**, Vol. 10, No. 2.
- Putri, R., D., Priyantoro, D., Prasetyorini., L., Suprijanto, H. 2014. Evaluasi Sistem Drainase Daerah Muara Boezem Utara Morokrembangan Surabaya. **Jurnal Teknik Pengairan Fakultas Teknik Universitas Brawijaya**.
- Rukaesih, Achmad. 2004. **Kimia Lingkungan**. Yogyakarta : Penerbit Andi.
- Sahely, H., R. 2006. **Urban Water Systems for Sustainable Cities**. PhD. Thesis, University of Toronto, Toronto, ON, Canada.
- Sari, F.R., Anissa R., Tuhuloula, A. 2013. Perbandingan Limbah dan Lumpur Aktif Terhadap Pengaruh Sistem Aerasi ppada Pengolahan Limbah CPO. **Konversi**. Vol 2(1).
- Sari, Amalia N., Hutabarat, S., Soedarsono, P. 2014. Struktur Komunitas Plankton pada Padang Lamun di Pantai Pulau

- Panjang, Jepara. **Diponegoro Journal of Maquares**. Vol 3(2): 82-91.
- Sasse, Ludwig. 1998. **DEWATS: Desentralised Wastewater Treatment in Developing Countries**. BORDA. Hal 97.
- Satwika. 2012. Teknis Penanganan Sedimen Secara Kuratif pada Bagian Selatan Boezem Morokrempangan. **Tesis** Jurusan Teknik Lingkungan FTSP ITS.
- Sawyer, Clair N., McCarty, Perry L., dan Parkin, Gene F. 2003. **Chemistry for Environmental Engineering and Science Fifth Edition**. Singapore: McGraw-Hill.
- Semedi, B., Safitri, N.M. 2015. Estimasi Distribusi Klorofil-a di Perairan Selat Madura Menggunakan Data Citra Satelit Modis dan Pengukuran In Situ pada Musim Timur. *Research Journal of Life Science*. Vol 02(01).
- Septina, T. 2011. **Studi Laju Akumulasi Lumpur pada Boezem Morokrempangan**. Tugas Akhir. Jurusan Teknik Lingkungan ITS. Surabaya.
- Shilton, A., dan Walmsey, N. 2005. **Introduction to Pond Treatment Technology. In Pond Treatment Technology**. IWA Publishing., London, pp. 1-13.
- Silva, J., P. 2007. **Sustainable Water Management in The City of The Future**. PhD Research. Sixth Framework Programme. SWITCH.
- Simanjuntak, M. 2009. Hubungan Faktor Lingkungan Kimia, Fisik Terhadap Distribusi Plankton di Perairan Belitung Timur, Bangka Belitung. **Jurnal Perikanan**. Vol 11(1):31-45.
- Singh, S., P., Singh, Priyanka. 2014. Effect of CO₂ Concentration on Algal Growth: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. Vol 38; 172-179.
- Siregar, B.I.T. 2012. **Identifikasi Dominasi Genus Algae pada Air Boezem Morokrempangan Sebagai Sistem HRAP (High Rate Algae Pond)**. Tugas Akhir. Jurusan Teknik Lingkungan ITS. Surabaya.
- Sperling. 2007. **Waste Stabilisation Ponds**. Volume Three. Departement of Sanitary and Environmental Engineering. Brazil: Federal University of Minas Gerais. IWA Publishing.
- Stepan, D.J., Shockey, R.E., Moe, T.A, Dorn, R. 2002. **Carbon dioxide Sequestering Using Microalgae Systems**. US Departement of Energy, Pittsburgh, PA.

- Sutherland, D.L., Turnbull, M., H., Craggs, R., J. 2014. Increased Pond Depth Improves Algal Productivity and Nutrient Removal in Wastewater Treatment High Rate Algal Ponds. **Water Research**. 53. 271-281.
- Ulqodry P.T.Z., Aryawati, R. 2013. Pola Sebaran Konsentrasi Klorofil-a di Selat Bangka dengan Menggunakan Citra Aqua-Modis. **Maspari Journal**. Vol 5(1):22-33.
- US.EPA. 2010. **Greenhouse Gas Emissions Estimation Methodologies for Biogenic Emissions from Selected Source Categories: Solid Waste Disposal, Waste Water Treatment, Ethanol Fermentation**. Submitted by RTI. No. EP-D-06-118
- Wang, B., Li, Y., Wu, N., Lan, C. 2008. CO₂ Bio-Mitigation Using Microalgae. **Appl Microbiol Biotechnol**; 79(5):707-18.
- Wirawan, WA., Wirosodarmo, R., Susanawati, LD. 2014. Pengolah Limbah Cair Domestik Menggunakan Tanaman Kayu Apu (*Pistia stratiotes* L) dengan teknik tanam hidroponik sistem DFT (*Deep Flow Technique*). **Jurnal Sumberdaya Alam dan Lingkungan**. 1: 63-70
- Xin, W., ChunboHao, Zhang F., Feng C., Yang, Y. 2011. Inhibition of Growth of Two Blue-green Algae Species (*Microsystisaruginosa* and *Anabaena spiroides*) by Acidification Treatments using Carbon dioxide. **Bioresour Technol**. 102 (10): 5742-8.
- Yeoung-Sang Yun, Sun B., L., Moon P., J., Lee Choong-II ,Yang Ji-Won. 1997. Carbon dioxide Fixation by Algal Cultivation Using Wastewater Nutrients. **J Chem Technol Biotechnol**;69(4):451-5.
- Zimmo, O., R., Van der Steen, N., P., Gijzen, H., H., J. 2003. Comparison of Ammonia Volatilisation Rates in Algae and Duckweed-based Waste Stabilisation Ponds Treating Domestic Waste Water. **Water Res**, 37, 4587-45-94.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN A

PEMBUATAN REAGEN DAN PROSEDUR ANALISIS

A. ALAT DAN BAHAN UNTUK PENGAMBILAN SAMPEL AIR

1. Botol *winkler* dan botol plastik untuk menyimpan sampel agar tidak ada kontaminan dan oksigen yang masuk ke dalam botol
2. Bahan kimia yang untuk pengawetan sampel. Bahan kimia untuk pengawetan yang digunakan adalah MnSO_4 dan pereaksi oksigen. MnSO_4 yang ditambahkan akan mengoksidasi sampel pada keadaan alkalis, sehingga terjadi endapan Mn(OH)_2 . Oksigen akan dioksidasi menjadi endapan MnO_2 . Penambahan pereaksi oksigen maka akan membebaskan iodine yang jumlahnya ekuivalen dengan oksigen terlarut.
3. Box pendingin digunakan untuk menyimpan sampel dengan rentang temperatur $2^\circ\text{--}4^\circ\text{C}$.
4. Kamera sebagai alat untuk mendokumentasikan kegiatan sampling.
5. Tali untuk membantu proses sampling
6. Ember plastik untuk mengambil air dari Boezem Morokrembangan
7. Secchi disk

B. PROSEDUR ANALISIS LABORATORIUM

Analisis COD (*Chemical Oxygen Demand*)

Alat dan Bahan:

1. Larutan kalium dikromat ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) 0,1 N
2. Kristal perak sulfat (Ag_2SO_4) dicampur dengan asam sulfat (H_2SO_4)
3. Kristal merkuri sulfat (Hg_2SO_4)
4. Larutan standart Fero Amonium Sulfat (FAS) 0,05 N
5. Larutan indikator Fenantrolin Fero Sulfat (Feroin)
6. Erlenmeyer 250 mL 2 buah
7. Buret 25 mL atau 50 mL 1 buah
8. Alat refluks dan pemanasnya
9. Pipet 5 mL, 10 mL
10. Pipet tetes 1 buah
11. Beker glass 50 mL, 1 buah

12. Gelas ukur 25 mL, 1 buah

Prosedur Analisis:

1. Masukkan 0,4 gram kristal Hg_2SO_4 ke dalam masing-masing erlenmeyer.
2. Tuangkan 20 mL air sampel dan 20 mL air akuades (sebagai blangko) ke dalam masing-masing erlenmeyer.
3. Tambahkan 10 mL larutan $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 0,1 N.
4. Tambahkan 25 mL larutan campuran H_2SO_4 dan Ag_2SO_4 .
5. Alirkan pendingin pada kondensor dan pasang erlenmeyer COD.
6. Nyalakan alat pemanas dan refluks larutan tersebut selama 2 jam.
7. Biarkan erlenmeyer dingin dan tambahkan air akuades melalui kondensor sampai volume 150 mL.
8. Lepaskan erlenmeyer dari kondensor dan tunggu sampai dingin.
9. Tambahkan 3-4 tetes indikator Feroin.
10. Titrasi kedua larutan di erlenmeyer tersebut dengan larutan standart FAS 0,05 N hingga warna menjadi merah-coklat.
11. Hitung COD sampel dengan rumus :

$$\text{COD (mg O}_2\text{/L)} = \frac{(A-B) \times N \times 8000}{\text{Vol Sampel}} \times p$$

Keterangan:

A : mL FAS titrasi blanko

B : mL FAS titrasi sampel

N : normalitas larutan FAS

P : pengenceran

Analisis BOD (*Biological Oxygen Demand*)

Alat dan Bahan:

1. Larutan buffer fosfat
2. Larutan Magnesium sulfat
3. Larutan Kalium Klorida
4. Larutan Feri Klorida
5. Bubuk inhibitor nitrifikasi
6. Benih inoculum, biasanya berasal dari tanah yang subur sebanyak 10 gram diencerkan dengan 100 ml air

7. Larutan mangan sulfat
8. Larutan pereaksi oksigen
9. Indikator amilum 0,5%
10. Asam sulfat pekat
11. Larutan standart natrium tiosulfat 0,0125 N
12. Aerator untuk mengaerasi air pengencer
13. Drum atau ember untuk air pengencer
14. 1 buah labu ukur berukuran 500 mL
15. Botol winkler 300 mL dan botol winkler 150 mL sebanyak 2 buah
16. Inkubator suhu 20°C
17. Pipet 10 ml dan 5 ml
18. Gelas ukur 100 ml 1 buah
19. Buret 25 ml atau 50 ml
20. Erlenmeyer 250 ml 1 buah

Prosedur Analisis:

a. Pembuatan Larutan Pengencer

Air pengencer tergantung banyak sampel yang akan dianalisis dan pengencerannya, prosedurnya adalah sebagai berikut:

1. Tambahkan 1 ml larutan buffer fosfat per liter
2. Tambahkan 1 ml larutan magnesium sulfat per liter
3. Tambahkan 1 ml larutan kalium klorida per liter
4. Tambahkan 1 ml larutan feri klorida per liter
5. Tambahkan 10 mg bubuk inhibitor
6. Aerasi minimal 2 jam
7. Tambahkan 1 ml larutan benih per liter air

b. Prosedur BOD

Menentukan Pengenceran

Untuk menganalisis BOD harus diketahui besarnya pengenceran melalui angka $KMnO_4$ sebagai berikut:

$$P = \frac{\text{Angka } KMnO_4}{a \text{ atau } 5}$$

Prosedur BOD dengan winkler

1. Siapkan 1 buah labu ukur 500 ml dan tuangkan sampel sesuai dengan perhitungan pengenceran, tambahkan air pengencer sampai batas labu.
2. Siapkan 2 buah botol wingkler 300 ml dan 2 buah botol winkler 300 ml dan 150 ml

3. Tuangkan air dalam labu takar tadi ke dalam botol winkler 300 ml dan 150 ml sampai tumpah.
4. Tuangkan air pengencer ke botol winkler 300 ml dan 150 ml sebagai blanko sampai tumpah.
5. Masukkan kedua botol winkler 300 ml ke dalam incubator 20°C selama 5 hari.
6. Kedua botol winkler 150 ml yang berisi air dianalisis oksigen terlarutnya dengan prosedur sebagai berikut:
 - Tambahkan 1 ml larutan mangan sulfat
 - Tambahkan 1 ml larutan pereaksi oksigen
 - Botol ditutup dengan hati-hati agar tidak ada gelembung udaranya lalu balik-balikkan beberapa kali
 - Biarkan gumpalan mengendap 5-10 menit
 - Tambahkan 1 ml asam sulfat pekat, tutup dan balik-balikkan
 - Tuangkan 100 ml larutan ke dalam Erlenmeyer 250 ml
 - Titrasi dengan larutan natrium tiosulfat 0,0125 N sampai warna menjadi coklat muda
 - Tambahkan 3-4 tetes indikator amilum dan titrasi dengan natrium tiosulfat hingga warna biru hilang
7. Setelah 5 hari, analisis kedua larutan dalam botol winkler 300 ml dengan analisis oksigen terlarut.
8. Hitung BOD dengan rumus berikut:

$$BOD_5^{20} = \frac{[(X_0 - X_5) - (B_0 - B_5)] \times (1 - P)}{P}$$

$$P = \frac{ml\ sampel}{volume\ hasil\ pengenceran\ (500ml)}$$

Keterangan:

X_0 : DO sampel pada $t = 0$

X_5 : DO sampel pada $t = 5$

B_0 : DO blanko pada $t = 0$

B_5 : DO blanko pada $t = 5$

P : derajat pengenceran

Analisis MLSS (*Mixed Liquor Suspended Solids*)

Alat dan Bahan:

1. Larutan sampel yang akan dianalisis
2. Furnace dengan suhu 550°C
3. Oven dengan suhu 105°C
4. Cawan porselin 50 ml
5. Timbangan analitis
6. Desikator
7. Cawan petridis
8. Kertas saring
9. Vacuum filter

Prosedur Analisis:

1. Cawan porselin dibakar dengan suhu 550°C selama 1 jam, setelah itu dimasukkan ke dalam oven 105°C selama 15 jam.
2. Masukkan kertas saring ke oven 105°C selama 1 jam
3. Cawan dan kertas saring diatas didinginkan dalam desikator selama 15 menit
4. Timbang cawan dan kertas saring dengan timbangan analitis (e mg)
5. Letakkan kertas saring yang telah ditimbang pada vacuum filter
6. Tuangkan 25 ml sampel diatas filter yang telah dipasang pada vacuum filter, volume sampel yang digunakan ini tergantung dari kepekataannya, catat volume sampel (g ml)
7. Saring sampel sampai kering atau airnya habis
8. Letakkan kertas saring pada cawan Petridis dan masukkan ke dalam oven 105°C selama 1 jam
9. Dinginkan didalam desikator selama 15 menit
10. Timbang dengan timbangan analitis (f mg)
11. Hitung jumlah MLSS dengan rumus berikut:

$$MLSS \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{(f - e)}{g} \times 1000 \times 1000$$

Analisis MLVSS (*Mixed Liquor Volatile Suspended Solids*)

Alat dan Bahan:

1. Furnace dengan suhu 550°C
2. Oven dengan suhu 105°C
3. Cawan porselin 50 ml
4. Timbangan analitis

5. Desikator

Prosedur Analisis:

1. Sampel hasil percobaan MLVSS dimasukkan dalam furnace dengan suhu 550°C selama 1 jam
2. Sampel dimasukkan ke oven suhu 105°C selama 1 jam
3. Dinginkan didalam desikator selama 15 menit
4. Timbang dengan timbangan analitis (h mg)
5. Hitung jumlah MLSS dengan rumus berikut:

$$MLVSS \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{(f - h)}{g} \times 1000 \times 1000$$

Analisis Klorofil A

Pembuatan Reagen

1. Larutan Magnesium karbonat jenuh
1 gram bubuk $MgCO_3$ diencerkan dengan aquades hingga volumenya mencapai 100 mL.
2. Larutan Aseton
Campurkan 10 mL larutan Magnesium karbonat dengan 90 mL aseton. Pembuatan aseton+Magnesium karbonat 100 mL.
3. Larutan HCl 0,1 N
Diambil 0,2 mL HCl pekat, kemudian diencerkan dengan aquades hingga 250 mL.

Prosedur Analisis:

1. Ambil sampel 50 mL, dengan tabung *Centrifuge*.
2. *Centrifuge* 2000 rpm / 2000-3000 rpm selama 30 menit.
3. Ambil supernatant / endapan hijau (alga) dengan menggunakan pipet ukur.
4. Masukkan supernatant pada gelas ukur 25 mL.
5. Tambahkan Larutan Aseton 2 mL.
6. Aduk selama 1 menit.
7. Tambahkan hingga volume menjadi 10 mL pada batas gelas ukur.
8. Masukkan pada tabung *Centrifuge*.
9. *Centrifuge* 500 rpm selama 20 menit.
10. Pembacaan Spektrofotometer dengan panjang gelombang 750 nm, 664 nm dan 645 nm. Dengan aseton sebagai Blanko.
11. Konsentrasi Klorofil dapat diketahui dengan rumus berikut:

$$\text{Klorofil A, mg/m}^3 = \frac{26,7 (664b - 665c) \times V1}{V2 \times L}$$

Dimana :

V1 = Volume ekstrak (L)

V2 = Volume sampel (m³)

L = lebar kuvet (cm)

664b, 665c = optical densitas dari 90% sebelum dan sesudah ekstrak

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN B
DATA HASIL ANALISIS

Tabel LB. 1 Pengukuran Debit Boezem Morokrengan

Tanggal	Waktu	Titik	Segmen	Kecepatan (m/detik)	Luas Penampang Basah (m ²)	Debit / Segmen (m ³ /detik)	Debit Total (m ³ /detik)
20-Sep-17	Pagi	Kali Purwodadi	1	0,083	0,46	0,04	0,14
			2	0,083	0,94	0,07	
			3	0,043	0,63	0,03	
			4	0,043	0,15	0,01	
		Kali Greges	1	0,043	3,91	0,16	1,62
			2	0,038	8,89	0,32	
			3	0,067	9,44	0,60	
			4	0,063	7,04	0,42	
			5	0,048	2,58	0,12	
		Outlet	1	0,143	0,56	0,08	3,08
			2	0,143	3,11	0,42	
			3	0,200	6,16	1,17	
			4	0,200	6,16	1,17	
			5	0,100	2,55	0,24	

Tanggal	Waktu	Titik	Segmen	Kecepatan (m/detik)	Luas Penampang Basah (m ²)	Debit / Segmen (m ³ /detik)	Debit Total (m ³ /detik)
	Siang	Kali Purwodadi	1	0,029	0,46	0,01	0,09
			2	0,042	0,94	0,04	
			3	0,050	0,69	0,03	
			4	0,050	0,21	0,01	
		Kali Greges	1	0,067	3,01	0,19	1,57
			2	0,063	8,00	0,47	
			3	0,100	7,13	0,68	
			4	0,053	3,08	0,15	
			5	0,083	0,92	0,07	
		Outlet	1	0,050	0,49	0,02	2,03
			2	0,111	3,07	0,32	
			3	0,167	5,40	0,85	
			4	0,143	4,90	0,67	
			5	0,083	2,09	0,17	
	Sore	Kali Purwodadi	1	0,100	0,53	0,05	0,30
			2	0,125	1,10	0,13	
			3	0,100	0,89	0,08	
			4	0,100	0,33	0,03	

Tanggal	Waktu	Titik	Segmen	Kecepatan (m/detik)	Luas Penampang Basah (m ²)	Debit / Segmen (m ³ /detik)	Debit Total (m ³ /detik)
		Kali Greges	1	0,111	2,80	0,30	1,67
			2	0,063	6,12	0,36	
			3	0,100	6,92	0,66	
			4	0,053	4,92	0,25	
			5	0,083	1,32	0,10	
		Outlet	1	0,067	0,60	0,04	0,96
			2	0,067	3,03	0,19	
			3	0,045	6,39	0,28	
			4	0,050	6,47	0,31	
			5	0,063	2,51	0,15	
21-Sep-17	Pagi	Kali Purwodadi	1	0,100	0,46	0,04	0,15
			2	0,063	0,86	0,05	
			3	0,083	0,63	0,05	
			4	0,050	0,22	0,01	
		Kali Greges	1	0,143	1,85	0,25	4,97
			2	0,250	6,58	1,56	
			3	0,200	7,93	1,51	
			4	0,250	6,15	1,46	
			5	0,067	2,95	0,19	

Tanggal	Waktu	Titik	Segmen	Kecepatan (m/detik)	Luas Penampang Basah (m ²)	Debit / Segmen (m ³ /detik)	Debit Total (m ³ /detik)
		Outlet	1	0,167	0,41	0,06	2,04
			2	0,167	2,27	0,36	
			3	0,143	4,64	0,63	
			4	0,143	5,40	0,73	
			5	0,100	2,62	0,25	
	Siang	Kali Purwodadi	1	0,063	0,43	0,03	0,16
			2	0,071	0,96	0,07	
			3	0,071	0,79	0,05	
			4	0,071	0,26	0,02	
		Kali Greges	1	0,050	4,92	0,23	1,71
			2	0,063	9,32	0,55	
			3	0,067	7,78	0,49	
			4	0,053	6,27	0,31	
			5	0,042	2,89	0,11	
		Outlet	1	0,111	0,52	0,06	1,32
			2	0,111	2,46	0,26	
			3	0,083	5,78	0,46	
			4	0,067	6,28	0,40	
			5	0,067	2,43	0,15	

Tanggal	Waktu	Titik	Segmen	Kecepatan (m/detik)	Luas Penampang Basah (m ²)	Debit / Segmen (m ³ /detik)	Debit Total (m ³ /detik)
	Sore	Kali Purwodadi	1	0,045	0,55	0,02	0,16
			2	0,091	0,94	0,08	
			3	0,050	0,73	0,03	
			4	0,050	0,35	0,02	
		Kali Greges	1	0,250	2,12	0,50	8,88
			2	0,500	6,43	3,05	
			3	0,250	8,73	2,07	
			4	0,333	7,35	2,33	
			5	0,333	2,92	0,93	
		Outlet	1	0,020	1,33	0,02	1,09
			2	0,200	4,10	0,78	
			3	0,020	6,73	0,13	
			4	0,020	6,39	0,12	
			5	0,020	2,43	0,05	
22-Sep-17	Pagi	Kali Purwodadi	1	0,029	0,47	0,01	0,08
			2	0,022	1,05	0,02	
			3	0,036	0,89	0,03	
			4	0,036	0,32	0,01	

Tanggal	Waktu	Titik	Segmen	Kecepatan (m/detik)	Luas Penampang Basah (m ²)	Debit / Segmen (m ³ /detik)	Debit Total (m ³ /detik)
		Kali Greges	1	0,100	2,34	0,22	2,31
			2	0,100	6,03	0,57	
			3	0,091	7,87	0,68	
			4	0,100	6,92	0,66	
			5	0,067	2,74	0,17	
		Outlet	1	0,167	2,09	0,33	4,09
			2	0,167	5,09	0,81	
			3	0,333	6,16	1,95	
			4	0,125	5,44	0,65	
			5	0,167	2,28	0,36	
	Siang	Kali Purwodadi	1	0,063	0,75	0,04	0,17
			2	0,043	1,53	0,06	
			3	0,042	1,16	0,05	
			4	0,042	0,38	0,01	
		Kali Greges	1	0,040	3,01	0,11	1,12
			2	0,040	6,70	0,25	
			3	0,042	8,39	0,33	
			4	0,036	8,46	0,29	
			5	0,036	3,75	0,13	

Tanggal	Waktu	Titik	Segmen	Kecepatan (m/detik)	Luas Penampang Basah (m ²)	Debit / Segmen (m ³ /detik)	Debit Total (m ³ /detik)
		Outlet	1	0,031	1,17	0,03	0,81
			2	0,031	4,25	0,13	
			3	0,036	7,69	0,26	
			4	0,038	7,92	0,29	
			5	0,031	3,31	0,10	
	Sore	Kali Purwodadi	1	0,083	0,61	0,05	0,25
			2	0,100	1,21	0,11	
			3	0,077	0,91	0,07	
			4	0,077	0,32	0,02	
		Kali Greges	1	0,111	2,00	0,21	2,00
			2	0,091	5,26	0,45	
			3	0,100	6,95	0,66	
			4	0,083	6,12	0,48	
			5	0,083	2,43	0,19	
		Outlet	1	0,111	3,92	0,41	2,08
			2	0,100	7,73	0,73	
			3	0,100	6,28	0,60	
			4	0,100	2,99	0,28	
			5	0,100	0,52	0,05	

Tanggal	Waktu	Titik	Segmen	Kecepatan (m/detik)	Luas Penampang Basah (m ²)	Debit / Segmen (m ³ /detik)	Debit Total (m ³ /detik)
23-Sep-17	Pagi	Kali Purwodadi	1	0,100	0,55	0,05	0,25
			2	0,100	1,07	0,10	
			3	0,091	0,85	0,07	
			4	0,083	0,34	0,03	
		Kali Greges	1	0,111	2,64	0,28	1,70
			2	0,091	7,10	0,61	
			3	0,056	8,24	0,43	
			4	0,048	6,00	0,27	
			5	0,048	2,21	0,10	
		Outlet	1	0,091	1,29	0,11	1,66
			2	0,091	3,30	0,28	
			3	0,111	5,70	0,60	
			4	0,077	6,96	0,51	
			5	0,050	3,27	0,16	
	Siang	Kali Purwodadi	1	0,077	0,45	0,03	0,17
			2	0,056	1,11	0,06	
			3	0,071	0,94	0,06	
			4	0,071	0,28	0,02	
			1	0,067	3,38	0,21	1,89

Tanggal	Waktu	Titik	Segmen	Kecepatan (m/detik)	Luas Penampang Basah (m ²)	Debit / Segmen (m ³ /detik)	Debit Total (m ³ /detik)
		Kali Greges	2	0,111	7,29	0,77	
			3	0,050	7,60	0,36	
			4	0,059	6,77	0,38	
			5	0,059	3,08	0,17	
		Outlet	1	0,091	1,10	0,09	1,46
			2	0,091	3,64	0,31	
			3	0,077	7,34	0,54	
			4	0,048	8,83	0,40	
			5	0,029	4,03	0,11	
	Sore	Kali Purwodadi	1	0,063	0,64	0,04	0,21
			2	0,063	1,25	0,07	
			3	0,071	0,95	0,06	
			4	0,091	0,34	0,03	
		Kali Greges	1	0,067	1,97	0,12	1,51
			2	0,059	5,75	0,32	
			3	0,056	7,04	0,37	
			4	0,077	6,37	0,47	
			5	0,077	3,11	0,23	
		Outlet	1	0,036	3,23	0,11	0,88

Tanggal	Waktu	Titik	Segmen	Kecepatan (m/detik)	Luas Penampang Basah (m ²)	Debit / Segmen (m ³ /detik)	Debit Total (m ³ /detik)
24-Sep-17			2	0,040	7,31	0,28	
			3	0,033	7,57	0,24	
			4	0,048	4,60	0,21	
			5	0,048	1,10	0,05	
	Pagi	Kali Purwodadi	1	0,048	0,70	0,03	0,15
			2	0,038	1,47	0,05	
			3	0,042	1,19	0,05	
			4	0,042	0,42	0,02	
		Kali Greges	1	0,083	3,38	0,27	1,85
			2	0,056	8,24	0,43	
			3	0,048	9,56	0,43	
			4	0,071	7,63	0,52	
		Outlet	5	0,071	2,92	0,20	1,67
			1	0,030	1,71	0,05	
			2	0,071	4,25	0,29	
			3	0,111	6,09	0,64	
			4	0,071	6,85	0,46	
			5	0,071	3,31	0,22	
	Siang		1	0,032	0,62	0,02	0,11

Tanggal	Waktu	Titik	Segmen	Kecepatan (m/detik)	Luas Penampang Basah (m ²)	Debit / Segmen (m ³ /detik)	Debit Total (m ³ /detik)
		Kali Purwodadi	2	0,040	1,31	0,05	
			3	0,030	1,09	0,03	
			4	0,030	0,40	0,01	
		Kali Greges	1	0,111	3,14	0,33	2,32
			2	0,091	8,12	0,70	
			3	0,091	9,44	0,82	
			4	0,050	7,20	0,34	
			5	0,050	2,74	0,13	
		Outlet	1	0,063	1,71	0,10	2,65
			2	0,125	4,41	0,52	
			3	0,143	7,61	1,03	
			4	0,111	7,15	0,76	
			5	0,111	2,24	0,24	
	Sore	Kali Purwodadi	1	0,042	0,62	0,02	0,14
			2	0,048	1,26	0,06	
			3	0,050	1,00	0,05	
			4	0,045	0,36	0,02	
		Kali Greges	1	0,050	3,32	0,16	1,43
			2	0,050	7,93	0,38	

Tanggal	Waktu	Titik	Segmen	Kecepatan (m/detik)	Luas Penampang Basah (m ²)	Debit / Segmen (m ³ /detik)	Debit Total (m ³ /detik)
			3	0,048	9,10	0,41	
			4	0,048	7,60	0,34	
			5	0,048	3,11	0,14	
		Outlet	1	0,071	1,25	0,08	1,14
			2	0,071	4,06	0,28	
			3	0,059	6,77	0,38	
			4	0,053	6,47	0,32	
			5	0,032	2,51	0,08	
25-Sep-17	Pagi	Kali Purwodadi	1	0,048	0,66	0,03	0,28
			2	0,083	1,34	0,11	
			3	0,111	1,02	0,11	
			4	0,100	0,34	0,03	
		Kali Greges	1	0,040	3,17	0,12	1,22
			2	0,033	7,35	0,23	
			3	0,045	7,93	0,34	
			4	0,063	6,30	0,37	
			5	0,063	2,55	0,15	
		Outlet	1	0,200	3,58	0,68	4,24
			2	0,167	8,37	1,33	

Tanggal	Waktu	Titik	Segmen	Kecepatan (m/detik)	Luas Penampang Basah (m ²)	Debit / Segmen (m ³ /detik)	Debit Total (m ³ /detik)
			3	0,250	6,62	1,57	
			4	0,200	2,65	0,50	
			5	0,200	0,83	0,16	
	Siang	Kali Purwodadi	1	0,083	0,71	0,06	0,37
			2	0,143	1,37	0,19	
			3	0,100	1,01	0,10	
			4	0,091	0,35	0,03	
		Kali Greges	1	0,042	2,74	0,11	1,04
			2	0,033	7,20	0,23	
			3	0,040	8,64	0,33	
			4	0,050	6,06	0,29	
			5	0,050	1,88	0,09	
		Outlet	1	0,143	3,61	0,49	3,08
			2	0,167	7,61	1,21	
			3	0,143	6,16	0,84	
			4	0,143	3,11	0,42	
			5	0,143	0,94	0,13	
	Sore	Kali Purwodadi	1	0,100	0,56	0,05	0,41
			2	0,143	1,22	0,16	

Tanggal	Waktu	Titik	Segmen	Kecepatan (m/detik)	Luas Penampang Basah (m ²)	Debit / Segmen (m ³ /detik)	Debit Total (m ³ /detik)
			3	0,143	1,03	0,14	
			4	0,143	0,38	0,05	
		Kali Greges	1	0,077	2,18	0,16	2,93
			2	0,143	5,87	0,80	
			3	0,125	7,38	0,88	
			4	0,143	6,03	0,82	
			5	0,125	2,34	0,28	
		Outlet	1	0,043	2,39	0,10	3,60
			2	0,167	6,62	1,05	
			3	0,125	9,06	1,08	
			4	0,125	8,91	1,06	
			5	0,083	4,07	0,32	
26-Sep-17	Pagi	Kali Purwodadi	1	0,063	0,64	0,04	0,22
			2	0,071	1,32	0,09	
			3	0,063	1,06	0,06	
			4	0,091	0,38	0,03	
		Kali Greges	1	0,045	3,44	0,15	2,12
			2	0,038	8,00	0,29	
			3	0,091	8,67	0,75	

Tanggal	Waktu	Titik	Segmen	Kecepatan (m/detik)	Luas Penampang Basah (m ²)	Debit / Segmen (m ³ /detik)	Debit Total (m ³ /detik)
			4	0,111	6,95	0,73	
			5	0,071	2,83	0,19	
		Outlet	1	0,059	1,67	0,09	3,18
			2	0,143	4,60	0,62	
			3	0,167	7,57	1,20	
			4	0,143	7,95	1,08	
			5	0,059	3,31	0,18	
	Siang	Kali Purwodadi	1	0,045	0,60	0,03	0,15
			2	0,056	1,36	0,07	
			3	0,038	1,10	0,04	
			4	0,038	0,34	0,01	
		Kali Greges	1	0,083	3,14	0,25	1,73
			2	0,059	7,38	0,41	
			3	0,063	8,79	0,52	
			4	0,063	6,92	0,41	
			5	0,063	2,37	0,14	
		Outlet	1	0,063	1,13	0,07	0,93
			2	0,071	3,26	0,22	
			3	0,063	5,97	0,35	

Tanggal	Waktu	Titik	Segmen	Kecepatan (m/detik)	Luas Penampang Basah (m ²)	Debit / Segmen (m ³ /detik)	Debit Total (m ³ /detik)
			4	0,038	5,86	0,21	
			5	0,036	2,01	0,07	
	Sore	Kali Purwodadi	1	0,143	0,71	0,10	0,37
			2	0,125	1,37	0,16	
			3	0,083	1,07	0,08	
			4	0,077	0,41	0,03	
			1	0,077	3,17	0,23	2,72
		Kali Greges	2	0,083	7,32	0,58	
			3	0,125	8,33	0,99	
			4	0,083	7,53	0,60	
			5	0,100	3,35	0,32	
		Outlet	1	0,045	1,86	0,08	3,04
			2	0,143	4,67	0,63	
			3	0,167	6,81	1,08	
			4	0,125	7,76	0,92	
			5	0,091	3,77	0,33	

Tabel LB. 2 Konsentrasi COD Air Sungai Purwodadi

Hari ke-	Konsentrasi COD (mg/L)		
	Pagi	Siang	Sore
1	410	320	380
2	130	240	160
3	300	220	240
4	170	250	180
5	140	140	160
6	140	130	130
7	230	90	100
Rata-Rata/Waktu	217,1	198,6	192,9
Rata-Rata	202,9		
Stanard Deviasi	104,84	81,12	93,22

Tabel LB. 3 Konsentrasi COD Air Sungai Greges

Hari ke-	Konsentrasi COD (mg/L)		
	Pagi	Siang	Sore
1	250	390	210
2	160	240	210
3	240	140	180
4	350	260	230
5	120	150	140
6	130	160	120
7	180	120	130
Rata-Rata/Waktu	204,3	208,6	174,3
Rata-Rata	195,7		
Standard Deviasi	81,42	95,64	44,29

Tabel LB. 4 Konsentrasi COD Air Outlet Boezem Morokrembangan

Hari ke-	Konsentrasi COD (mg/L)		
	Pagi	Siang	Sore
1	210	210	240
2	130	240	160
3	180	170	190
4	110	160	180
5	120	140	130
6	90	60	40
7	140	110	90
Rata-Rata/Waktu	140,0	155,7	147,1
Rata-Rata	147,6		
Standard Deviasi	41,63	60,24	66,76

Tabel LB. 5 Konsentrasi BOD Air Sungai Purwodadi

Hari ke-	Konsentrasi BOD (mg/L)		
	Pagi	Siang	Sore
1	282,58	235,75	240,53
2	99,62	192,66	108,79
3	183,84	181,49	157,26
4	132,92	169,34	138,05
5	126,64	118,77	136,19
6	103,81	81,23	105,89
7	159,77	63,83	76,47
Rata-Rata/Waktu	155,6	149,0	137,6
Rata-Rata	147,4		
Standard Deviasi	63,39	62,80	52,53

Tabel LB. 6 Konsentrasi BOD Air Sungai Greges

Hari ke-	Konsentrasi BOD (mg/L)		
	Pagi	Siang	Sore
1	182,79	244,47	183,56
2	126,55	195,13	181,87
3	147,48	119,99	131,73
4	212,05	161,48	147,23
5	107,34	123,57	106,29
6	106,76	124,66	108,79
7	151,34	111,98	118,32
Rata-Rata/Waktu	147,8	154,5	139,7
Rata-Rata	147,3		
Standard Deviasi	39,02	49,40	32,53

Tabel LB. 7 Konsentrasi BOD Air Outlet Boezem Morokrembangan

Hari ke-	Konsentrasi BOD (mg/L)		
	Pagi	Siang	Sore
1	138,94	144,19	164,45
2	107,19	172,57	122,65
3	115,34	151,41	100,65
4	83,85	132,79	140,18
5	93,51	84,86	97,14
6	59,64	45,65	21,03
7	107,76	96,45	55,85
Rata-Rata/Waktu	100,9	118,3	100,3
Rata-Rata	106,5		
Standard Deviasi	25,13	44,34	49,12

Tabel LB. 8 Konsentrasi MLSS Air Sungai Purwodadi

Hari ke-	Konsentrasi MLSS (mg/L)		
	Pagi	Siang	Sore
1	84	32	40
2	92	40	28
3	56	68	144
4	136	112	132
5	140	92	136
6	148	120	128
7	132	132	140
Rata-Rata/Waktu	112,6	85,1	106,9
Rata-Rata	101,5		
Standard Deviasi	35,06	39,44	50,16

Tabel LB. 9 Konsentrasi MLSS Air Sungai Greges

Hari ke-	Konsentrasi MLSS (mg/L)		
	Pagi	Siang	Sore
1	76	16	68
2	124	44	92
3	116	144	120
4	124	120	148
5	156	112	124
6	116	128	184
7	132	152	144
Rata-Rata/Waktu	120,6	102,3	125,7
Rata-Rata	116,2		
Standard Deviasi	23,94	51,84	38,15

Tabel LB. 10 Konsentrasi MLSS Air Outlet Boezem Morokrembangan

Hari ke-	Konsentrasi MLSS (mg/L)		
	Pagi	Siang	Sore
1	24	44	64
2	92	40	28
3	136	160	132
4	136	140	160
5	96	116	124
6	96	116	152
7	144	144	152
Rata-Rata/Waktu	103,4	108,6	116,0
Rata-Rata	109,3		
Standard Deviasi	41,47	48,08	50,49

Tabel LB. 11 Konsentrasi MLVSS Air Sungai Purwodadi

Hari ke-	Konsentrasi MLVSS (mg/L)		
	Pagi	Siang	Sore
1	72	20	36
2	56	28	24
3	52	56	132
4	116	92	116
5	112	68	108
6	132	72	80
7	116	80	120
Rata-Rata/Waktu	93,7	59,4	88,0
Rata-Rata	80,4		
Standard Deviasi	32,73	26,68	42,83

Tabel LB. 12 Konsentrasi MLVSS Air Sungai Greges

Hari ke-	Konsentrasi MLVSS (mg/L)		
	Pagi	Siang	Sore
1	56	8	52
2	88	28	68
3	96	96	100
4	112	80	120
5	112	68	108
6	100	116	168
7	80	136	124
Rata-Rata/Waktu	92,0	76,0	105,7
Rata-Rata	91,2		
Standard Deviasi	19,73	45,84	38,22

Tabel LB. 13 Konsentrasi MLVSS Air Outlet Boezem Morokrembangan

Hari ke-	Konsentrasi MLVSS (mg/L)		
	Pagi	Siang	Sore
1	16	40	36
2	36	48	64
3	120	120	80
4	88	108	136
5	72	96	112
6	68	112	100
7	124	120	140
Rata-Rata/Waktu	74,9	92,0	95,4
Rata-Rata	87,4		
Standard Deviasi	40,11	33,86	38,05

Tabel LB. 14 Hasil Analisis Klorofi a dan Perhitungan Biomassa Alga

Titik Sampling	Nilai Klorofil A 1 (mg/m³)	Nilai Klorofil A 2 (mg/m³)	Rata-rata Nilai Klorofil A (mg/m³)	Nilai Biomassa alga (g)
1	34,2	55,5	44,9	13073,28
2	94,0	47,0	70,5	19126,92
3	141,0	59,8	100,4	27241,37
4	42,7	47,0	44,9	13223,55
5	111,1	8,5	59,8	16429,26
6	149,5	51,3	100,4	28250,31
7	106,8	21,4	64,1	16958,77
8	170,9	29,9	100,4	25559,80
9	51,3	55,5	53,4	14668,98
10	21,4	34,2	27,8	6883,69
11	25,6	34,2	29,9	7914,09
12	12,8	38,4	25,6	6268,31
13	25,6	59,8	42,7	12307,63
14	115,3	98,3	106,8	26475,72
15	29,9	47,0	38,4	10304,06
16	47,0	76,9	61,9	14733,38
17	34,2	51,3	42,7	10733,40
18	51,3	17,1	34,2	9388,15
19	51,3	17,1	34,2	9273,66
20	38,4	34,2	36,3	11434,65
21	29,9	17,1	23,5	6296,93
22	51,3	25,6	38,4	9788,86
23	76,9	94,0	85,4	22039,25
24	81,2	21,4	51,3	10647,53
25	76,9	17,1	47,0	12908,70
26	17,1	34,2	25,6	6783,51
27	21,4	17,1	19,2	4701,23
28	12,8	8,5	10,7	2468,68
29	12,8	8,5	10,7	2218,24
30	81,2	29,9	55,5	11906,92
31	98,3	89,7	94,0	26761,94

Titik Sampling	Nilai Klorofil A 1 (mg/m ³)	Nilai Klorofil A 2 (mg/m ³)	Rata-rata Nilai Klorofil A (mg/m ³)	Nilai Biomassa alga (g)
32	68,4	12,8	40,6	12372,03
33	51,3	42,7	47,0	7871,16
34	4,3	12,8	8,5	2490,15
35	42,7	25,6	34,2	7556,31
36	94,0	29,9	61,9	14110,84
37	47,0	47,0	47,0	10547,35
38	29,9	47,0	38,4	9402,46
Jumlah Total Biomassa Alga				481121,08

Tabel LB. 15 Hasil Pengukuran *Dissolved Oxygen* (DO)

Titik Sampling	Nilai DO 1 (mg/L)	Nilai DO 2 (mg/L)	Rata-rata Nilai DO (mg/L)
1	1,15	1,25	1,20
2	2,69	2,25	2,47
3	1,97	1,34	1,66
4	2,94	2,39	2,67
5	2,09	2,56	2,33
6	2,96	1,73	2,35
7	3,78	3,17	3,48
8	2,16	2,59	2,38
9	1,72	1,05	1,39
10	3,59	3,33	3,46
11	2,71	2,59	2,65
12	1,50	1,64	1,57
13	1,59	1,25	1,42
14	2,91	2,22	2,57
15	1,68	1,10	1,39
16	2,58	2,91	2,75
17	2,10	2,32	2,21
18	2,12	2,22	2,17
19	2,60	2,91	2,76
20	1,34	1,01	1,18
21	1,95	1,84	1,90

Titik Sampling	Nilai DO 1 (mg/L)	Nilai DO 2 (mg/L)	Rata-rata Nilai DO (mg/L)
22	1,67	1,16	1,42
23	3,93	3,38	3,66
24	3,65	3,01	3,33
25	2,54	2,59	2,57
26	2,89	2,80	2,85
27	1,95	1,26	1,61
28	1,53	1,52	1,53
29	1,04	1,25	1,15
30	1,91	1,40	1,66
31	3,69	3,62	3,66
32	3,77	3,65	3,71
33	1,34	1,07	1,21
34	1,08	1,51	1,30
35	1,22	1,03	1,13
36	2,80	2,89	2,85
37	3,53	3,88	3,71
38	4,59	4,47	4,53

Tabel LB. 16 Hasil Pengukuran Kedalaman *Secchi Depth*

Titik Sampling	<i>Secchi Depth</i> (m)	<i>Secchi Depth</i> (m)	Rata-rata <i>Secchi Depth</i> (m)
1	0,49	0,38	0,44
2	0,43	0,38	0,41
3	0,44	0,37	0,41
4	0,50	0,38	0,44
5	0,44	0,38	0,41
6	0,49	0,35	0,42
7	0,49	0,30	0,40
8	0,40	0,36	0,38
9	0,43	0,39	0,41
10	0,37	0,37	0,37
11	0,43	0,36	0,40
12	0,36	0,37	0,37

Titik Sampling	<i>Secchi Depth (m)</i>	<i>Secchi Depth (m)</i>	<i>Rata-rata Secchi Depth (m)</i>
13	0,48	0,38	0,43
14	0,41	0,33	0,37
15	0,45	0,35	0,40
16	0,37	0,34	0,36
17	0,36	0,39	0,38
18	0,43	0,39	0,41
19	0,43	0,38	0,41
20	0,51	0,43	0,47
21	0,45	0,35	0,40
22	0,44	0,32	0,38
23	0,42	0,35	0,39
24	0,36	0,26	0,31
25	0,45	0,37	0,41
26	0,42	0,37	0,40
27	0,41	0,32	0,37
28	0,34	0,35	0,35
29	0,35	0,27	0,31
30	0,34	0,30	0,32
31	0,35	0,50	0,43
32	0,43	0,48	0,46
33	0,22	0,28	0,25
34	0,42	0,45	0,44
35	0,32	0,34	0,33
36	0,35	0,33	0,34
37	0,36	0,31	0,34
38	0,43	0,30	0,37

**LAMPIRAN C
GAMBAR DAN FOTO**



Gambar LC. 1 Pengukuran Debit Menggunakan Alat Ukur Pelampung



Gambar LC. 2 Pengambilan Sampel Air



Gambar LC. 3 Pengambilan Sampel Alga



Gambar LC. 4 Penggunaan GPS Menuju Titik Sampling



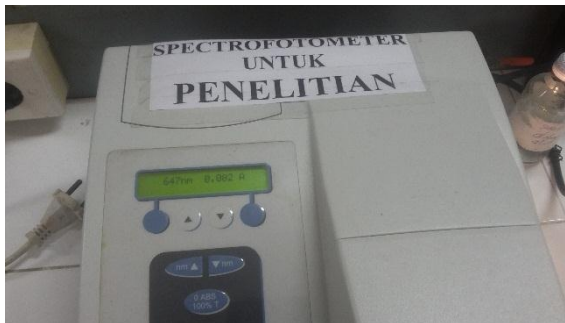
Gambar LC. 5 Pengukuran Kedalaman Intensitas Cahaya dengan Secchi Disk



Gambar LC. 6 Analisis BOD dan COD Sampel



Gambar LC. 7 Analisis MLSS dan MLVSS

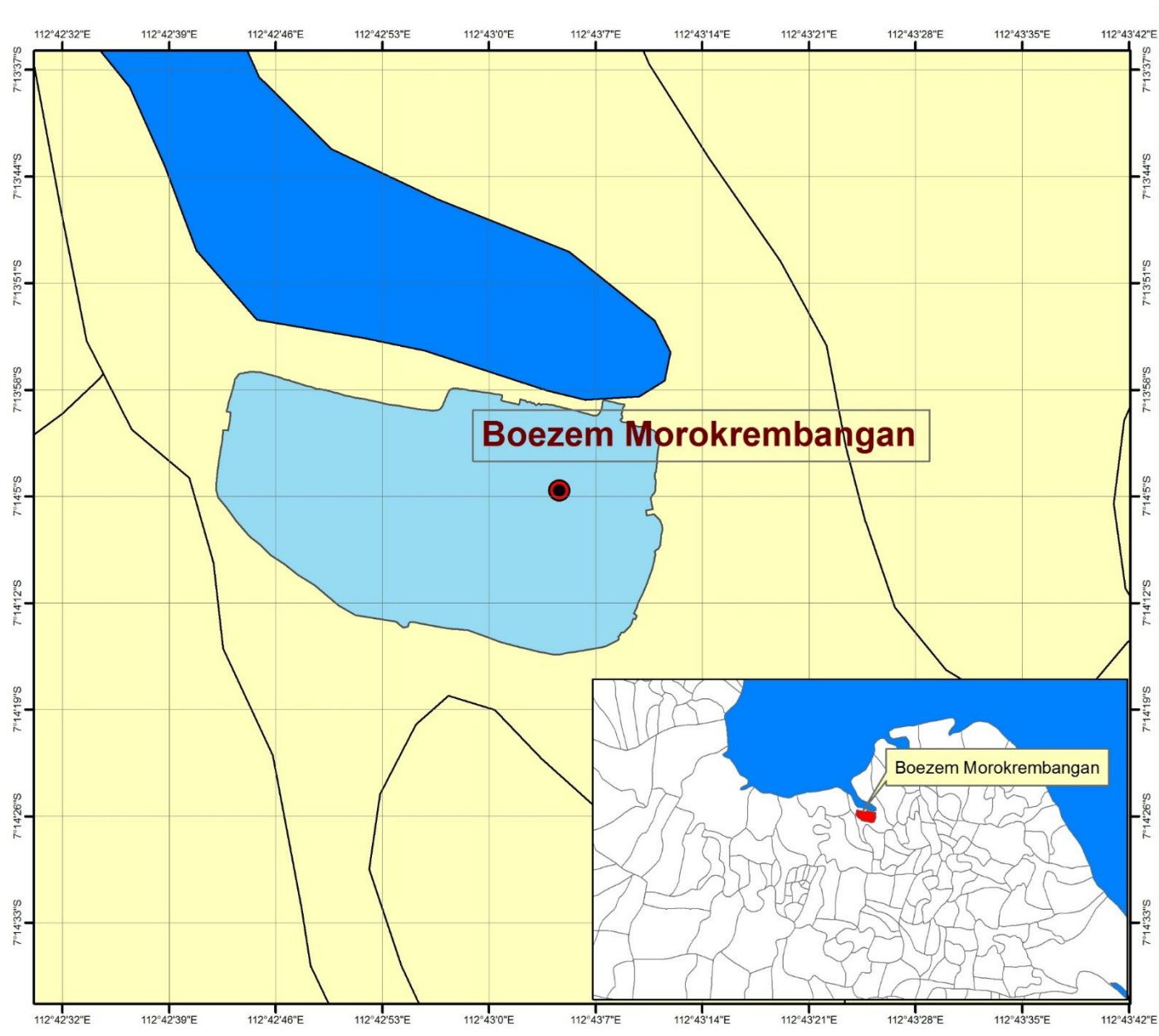


Gambar LC. 8 Analisis Klorofil a Alga dengan Menggunakan Spektrofotometer



Gambar LC. 9 Pengukuran Nilai DO Menggunakan DO meter

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



**Peta Dasar Waduk
Boezem Morokembangan
Surabaya, Jawa Timur**



0 0,05 0,1 0,2 0,3 0,4 Km

LEGENDA FRAME 1

- Lokasi
- Boezem Morokembangan
- Shapefile Surabaya

LEGENDA FRAME 2

- Boezem Morokembangan
- Shapefile Surabaya

Di Buat Oleh

Tanjung Mega Dwi Puspita
3314100013

DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL,
LINGKUNGAN, DAN KEBUMIHAN,
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER
2017

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BIODATA PENULIS



Penulis yang memiliki nama lengkap Tanjung Mega Dwi Puspita lahir di Lamongan, 17 Desember 1995. Penulis merupakan anak ketiga dari 5 bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal di SD Negeri Kadipaten 1 Bojonegoro, SMP Negeri 1 Bojonegoro, dan SMA Negeri 1 Bojonegoro. Pada Tahun 2014, penulis melanjutkan kuliah di Teknik Lingkungan FTSLK Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS). Selama perkuliahan, penulis aktif dalam berbagai kegiatan Himpunan Mahasiswa Teknik Lingkungan (HMTL). Penulis pernah aktif sebagai Bendahara 2 HMTL periode 2015/2016 dan Bendahara 1 HMTL periode 2016/2017. Penulis juga aktif dalam kegiatan Unit Kegiatan Mahasiswa (UKM) Cinta Rebana ITS serta berkesempatan menjadi asisten laboratorium mata kuliah Mikrobiologi Lingkungan. Pelatihan yang pernah diikuti adalah pelatihan LKMM Pra-TD, LKMM TD, Pelatihan Karya Tulis Ilmiah Tingkat Dasar, House of Leadership (HOLE) TL, Sistem Manajemen Kesehatan dan Keselamatan Kerja (SMK3). Berbagai kepanitiaan juga diikuti oleh penulis, seperti panitia Kampung Mandiri dan Unggul (Kamandanu), *3rd International Post Graduate Conference on Biotechnology* (IPCB), seminar indowater 2016, dll. Penulis memiliki kesempatan melaksanakan kerja praktek di PT. PHE West Madura Offshore Gresik, Jawa Timur. Penulis dapat dihubungi via email tanjungmegadwi@gmail.com.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”